

IVANA SANTOS MOISINHO

**EFEITO DOS HERBICIDAS DICAMBA E 2,4-D EM PRÉ-EMERGÊNCIA DE
PLANTAS DANINHAS**

Botucatu

2024

IVANA SANTOS MOISINHO

**EFEITO DOS HERBICIDAS DICAMBA E 2,4-D EM PRÉ-EMERGÊNCIA DE
PLANTAS DANINHAS**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor Agronomia/Proteção de Plantas

Orientador(a): Prof. Dr. Edivaldo
Domingues Velini

Botucatu

2024

M714e	Moisinho, Ivana Santos Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D em pré-emergência de plantas daninhas / Ivana Santos Moisinho. -- Botucatu, 2024 100 p. : tabs., fotos Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Edivaldo Domingues Velini 1. plantas daninhas. 2. herbicidas. 3. Ácido diclorofenoxiacético. 4. dicamba. I. Título.
-------	--



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITOS DOS HERBICIDAS DICAMBA E 2,4-D EM PRÉ-EMERGÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS

AUTORA: IVANA SANTOS MOISINHO

ORIENTADOR: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Proteção de Plantas), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Documento assinado digitalmente
EDIVALDO DOMINGUES VELINI
Data: 17/12/2024 17:34:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. CAIO AUGUSTO DE CASTRO GROSSI BRUNHARO (Participação Virtual)
. / Oregon State University

Pesquisador Dr. PLINIO SAULO SIMÕES (Participação Virtual)
. / Renove Agropesquisa

Documento assinado digitalmente
ANA KAROLLYNA ALVES DE MATOS
Data: 17/12/2024 17:49:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.ª Dr.ª ANA KAROLLYNA ALVES DE MATOS (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Pesquisador Dr. RENATO NUNES COSTA (Participação Virtual)
. / BioAtiva

Botucatu, 17 de dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Inicialmente ao Senhor pela oportunidade de estar presente neste momento e proporcionar-me a passagem de grandes pessoas em meu caminho que contribuíram para minha formação profissional e pessoal. Por iluminar e me guiar durante a trajetória. Por me dar força nos momentos mais difíceis e nunca me deixar perder a fé para seguir o caminho.

À minha família, por ter me criado com valores e princípios que orientam nas minhas decisões, apoio e suporte como também as críticas para seguir no rumo certo.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA-UNESP Botucatu), ao Programa de Pós-graduação em Agronomia - Proteção de plantas, e ao Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia, pela oportunidade e infraestrutura para desenvolvimento do Mestrado acadêmico.

À The Pennsylvania State University, pela oportunidade, suporte e acolhimento durante o período de intercâmbio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini, pela orientação e paciência em partilhar conhecimentos, auxiliando e oferecendo suporte em todos os momentos ao longo do meu período de pós-graduação. Além da orientação profissional, agradeço também por demonstrar tamanha humildade, respeito e valorização humana em todos os momentos que partilhamos.

Ao prof. Caio Antonio Carbonari, que direta e indiretamente pela presença e contribuições na realização da pesquisa, bem como o suporte durante o período.

Ao prof. Caio Augusto de Castro Grossi Brunharo, por proporcionar a realização do intercâmbio, pela orientação e compartilhamentos nos projetos de pesquisa, pelo apoio e incentivo ao meu desenvolvimento profissional.

Aos técnicos e funcionários do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia, José Roberto Marques Silva, José Guilherme Ferreira Cordeiro e Luis Marcelo Siono pelo auxílio nas atividades experimentais. Como também por todos os momentos de alegria e compartilhamentos durante o período de convivência.

Aos professores da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA- UNESP Botucatu), pelos conhecimentos compartilhados e contribuições para a minha formação profissional.

Agradecimento especial deve ser feito a todos que mesmo nos encontrando no ambiente profissional se tornaram muito mais que colegas. Àquelas responsáveis pela troca de experiências, acolhimento, palavras de carinho e ouvidos nos momentos de desabafo. Por estender a mão e contar com apoio em todas as horas e que vou carregar um pedacinho de cada um.

Àqueles que convivi e contribuíram também nas pesquisas realizadas no NUPAM, Lais Maria Bonadio Precipito, Renato Nunes Costa, Marina Cucci, Jéssica Bonamichi, Ana Karollyna Alves de Matos, Ivana Paula Ferraz, Natalia da Cunha Bevilaqua, Tamara Thais Mundt, Plínio Saulo Simões, Raphael Mereb Negrisoni, José Rufato, Izabela Thais dos Santos e, Valesca Pinheiro de Miranda.

Àqueles que encontrei na pós-graduação, além de colegas de profissão se tornaram membros da família, pois amigo é a família que a gente escolhe, Paula Gregorini Silva, Bruna dos Anjos, Thais Lohaine Braga Santos, Felipe Barreto, Barbara Silveira, Aline Marques e, Ana Paula Santana.

Aos colegas de laboratório Penn State University que auxiliaram na condução dos ensaios e amizade construída, Laura Rodriguez Baquero, Anais Mariana Mejia Salorzano, Adrian Veron Zarate, Justin Kozak e Ana Paula Werkhausen Witter.

Às minhas colegas de sala Laurel Wellman and Noelle Connors e aos demais pós-graduandos da Penn State University Megan Czekaj, Emma Katherine Rice, Diego Barranco, Kara Eckert, Nasib Koirala, Navdeep Kaur, Glorioso Nsengiyumva, e, Victor Vicentin Bentes pelos momentos e experiências compartilhadas.

Àqueles que tiver o prazer de dividir a mesma morada durante o intercâmbio, Ana Silva, Jessica Valmorbida, Maikol Christian, Fabricio Vasconcelos, Douglas Monteiro, Maria Karolina Ramos, Adriana Oliveira, Cesar Abrahao, Kai Wang, Jean Magalhães e Alisson Marques pelas conversas na mesa, e tantos outros momentos que vivenciamos. Faltam palavras para expressar o que a nossa convivência representou, com certeza vocês fizeram desse período muito mais leve e acolhedor.

Àqueles amigos em State College, Alexandre Borges, Larissa Correia, Raúl Román, David Sanchez, Raul Roch, Stan Mulik, Daniele Paulino, Alejandra Flores Mejia, Fellype Diorgennes, Celso de Lima, Julian, Ivan Lopez, Sergio Perez, Davis Salas, Stefan Terrazas, Pedro Augusto por todas as conversas, convivência e tantos outros momentos que compartilhamos.

Aos demais amigos, professores, orientadores e funcionários que compreenderam parte do caminho até aqui, proporcionando experiências e conhecimentos

fundamentais para meu desenvolvimento. Sempre estiveram presentes compartilhando momentos, onde a sua presença foi essencial para seguir adiante.

À todos que cruzaram e marcaram de alguma forma meu caminho

RESUMO

Os herbicidas auxínicos controlam eficazmente plantas daninhas de folhas largas com pouca ação sobre gramíneas em pós-emergência, sendo seletivos para culturas específicas quando aplicados no momento recomendado. Estudos foram conduzidos para verificar o efeito de 2,4-D e dicamba em espécies gramíneas e eudicotiledôneas quando aplicados na pré-emergência, bem como, a dinâmica em solos com característica distintas. O primeiro experimento consistiu em testes de germinação com 2,4-D e dicamba em *Urochloa decumbens* (BRADC), *Digitaria insularis* (TRCIN), *Eleusine indica* (ELEIN) e *Amaranthus hybridus* (AMACH), *Ipomoea grandifolia* (IAQGR) e *Distimake aegyptius* (CONAE) nas concentrações 0; 0,5; 1; 5 e 10 ppm. Aos 7 e 14 dias foram mensuradas a porcentagem de germinação e plântulas deformadas ou mortas e, comprimento de parte aérea e raízes. Os dados foram analisados em experimento fatorial 5x2 através do teste de LSD à 5%. O segundo experimento consistiu na saturação de 39 solos com características distintas com uma solução de 2,4-D, picloram, triclopyr e, aminopyralid na concentração de 200 ppb. O solo saturado contido em cartuchos foi submetido a extração após 24h. Os compostos foram analisados através de cromatografia líquida e os teores dos herbicidas foram correlacionados com as diferentes características físico-químicas dos solos. O terceiro experimento consistiu na aplicação de 2,4-D e dicamba em pré-emergência das mesmas espécies que o estudo anterior nas doses de 0, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 g e a ha⁻¹. Aos 7, 14 e 21 dias foram contabilizadas o número de plântulas emergidas e aos 21 dias foi coletada a biomassa. As curvas de dose resposta foram ajustadas aos modelos log-logísticos e de hormesis. No primeiro experimento, os herbicidas auxínicos apresentaram efeitos difusos na germinação, plântulas deformadas e/ou mortas, comprimento de parte aérea e raízes resultando tanto em estímulo quanto em supressão a depender da espécie, concentração e tempo de avaliação. Foi verificado efeito supressor no comprimento de raízes das espécies daninhas nas concentrações e tempo de avaliação testados. No segundo experimento, A ordem de sorção dos herbicidas, do maior para o menor, foi: triclopyr, 2,4-D, picloram e aminopyralid. Em relação à disponibilidade, a sequência foi: aminopyralid, 2,4-D, picloram e triclopyr. As principais características do solo que influenciam negativamente a disponibilidade dos herbicidas auxínicos no solo foram

argila, matéria orgânica, Al_3 , $H+Al_3$ e Fe, e; positivamente, os teores de areia total, pH e V%. No terceiro experimento, o efeito fitotóxico dos herbicidas auxínicos aplicados em pré-emergência de plantas daninhas em solo de textura média variou de acordo com o tempo de exposição, tipo de herbicida utilizado e espécie. As espécies *U. decumbens*, *E. indica* e *D. aegyptius* apresentaram menor suscetibilidade aos herbicidas auxínicos testados em pré-emergência. A emergência das plântulas demonstrou maior suscetibilidade ao dicamba, exceto *A. hybridus* e a biomassa também apresentou maior redução na presença de dicamba exceto em *A. hybridus* e *I. grandifolia*.

Palavras-chave: plantas daninhas; hormesis; herbicidas auxínicos; sorção; disponibilidade de herbicidas.

ABSTRACT

Auxinic herbicides effectively control broadleaf weeds with minimal action on grasses in post-emergence, being selective for specific crops when applied at the recommended timing. Resistant species cases have stimulated the development of herbicide-resistant crops, allowing the control of difficult weeds in pre- or post-emergence. The effects of auxinic herbicides on the pre-emergence of grasses are underexplored; thus, based on the hypothesis that auxinic herbicides provide control on this group of species in pre-emergence, studies were conducted to verify the effect of 2,4-D and dicamba on grass and eudicot species when applied in pre-emergence, as well as their dynamics in soils with distinct characteristics. The first experiment consisted in germination test with 2,4-D and dicamba on *Urochloa decumbens* (BRADC), *Digitaria insularis* (TRCIN), *Eleusine indica* (ELEIN), and *Amaranthus hybridus* (AMACH), *Ipomoea grandifolia* (IAQGR), and *Distimake aegyptius* (CONAE) at concentrations of 0, 0.5, 1, 5, and 10 ppm. At 7 and 14 days, the percentage of germination, deformed or dead seedlings, and the length of shoots and roots were measured. Data were analyzed in a 5x2 factorial experiment using the LSD test at 5%. The second experiment involved the saturation of 39 soils with distinct characteristics using a solution of 2,4-D, picloram, triclopyr, and aminopyralid at a concentration of 200 ppb. Saturated soil contained in cartridges was subjected to extraction after 24 hours. The compounds were analyzed using liquid chromatography, and herbicide availability were correlated with soil properties. The third experiment involved the application of 2,4-D and dicamba in pre-emergence to the same species as the previous study at rates of 0, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, and 8000 g ha⁻¹. At 7, 14, and 21 days, the number of emerged seedlings was assessed, and at 21 days, biomass was collected. Dose-response curves were fitted to log-logistic and hormesis models. In the first experiment, auxinic herbicides showed diffuse effects on germination, deformed and/or dead seedlings, shoot and root length, resulting in both stimulation and suppression depending on the specie, concentration, and evaluation time. A suppressive effect on the root length of weed species was observed at the tested concentrations and evaluation times. The order of sorption of the herbicides, from highest to lowest, was: triclopyr, 2,4-D, picloram and aminopyralid. Regarding availability, the sequence was: aminopyralid, 2,4-D, picloram and triclopyr. The main soil characteristics that negatively influenced the availability of auxinic herbicides in the

soil were clay, organic matter, Al^3 , $\text{H}+\text{Al}^3$ and Fe, and positively, the total sand content, pH and V%. The phytotoxic effect of auxinic herbicides applied in pre-emergence in medium-textured soil varied according to exposure time, type of herbicide used, and specie. *U. decumbens*, *E. indica*, and *D. aegyptius* showed lower susceptibility to tested auxinic herbicides in pre-emergence. Seedling emergence demonstrated greater susceptibility to dicamba, except for *A. hybridus*, and biomass also showed greater reduction in dicamba application except in *A. hybridus* and *I. grandifolia*.

Keywords: weeds; hormesis; auxinic herbicides; sorption; herbicide availability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Auxinas endógenas e sintéticas	17
2.1.1	Dicamba.....	20
2.1.2	2,4-D.....	21
2.2	Dinâmica de herbicidas no solo	23
2.2.1	Características físico-químicas dos herbicidas.....	23
2.2.2	Características físico-químicas dos solos	24
2.2.3	Processos de retenção, transporte e transformação	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Experimento I- Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D na germinação de sementes de plantas daninhas.....	28
3.2	Experimento II- Sorção e disponibilidade de herbicidas auxínicos em solos com características distintas	29
3.3	Experimento III- Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D em pré- emergência de plantas daninhas	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Experimento I- Efeito dos herbicidas 2,4-D e dicamba na germinação de sementes de plantas daninhas.....	43
4.2	Experimento II- Sorção e disponibilidade de herbicidas auxínicos em solos com características distintas	61
4.3	Experimento III- Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D em pré- emergência de plantas daninhas	69
	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	85
	APÊNDICE A- Análise de variância das variáveis de germinação, plântulas deformadas, comprimento de parte aérea e raízes avaliadas em diferentes espécies de plantas daninhas aos 7 DAS ..	93
	APÊNDICE B- Análise de variância das variáveis de germinação, plântulas deformadas, comprimento de parte aérea e raízes avaliadas em diferentes espécies de plantas daninhas aos 14 DAS	94

APÊNDICE C- Curva de dose-resposta de 2,4-D aplicado em pré-emergência das plantas daninhas <i>U. decumbens</i> , <i>D. insularis</i> , <i>E. indica</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>I. grandifolia</i> e <i>D. aegyptius</i> aos 7 DAA.....	95
APÊNDICE D- Curva de dose-resposta de 2,4-D aplicado em pré-emergência das plantas daninhas <i>U. decumbens</i> , <i>D. insularis</i> , <i>E. indica</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>I. grandifolia</i> e <i>D. aegyptius</i> aos 14 DAA.....	96
APÊNDICE E- Curva de dose-resposta de 2,4-D aplicado em pré-emergência das plantas daninhas <i>U. decumbens</i> , <i>D. insularis</i> , <i>E. indica</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>I. grandifolia</i> e <i>D. aegyptius</i> aos 21 DAA.....	97
APÊNDICE F- Curva de dose-resposta de dicamba aplicado em pré-emergência das plantas daninhas <i>U. decumbens</i> , <i>D. insularis</i> , <i>E. indica</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>I. grandifolia</i> e <i>D. aegyptius</i> aos 7 DAA.....	98
APÊNDICE G- Curva de dose-resposta de dicamba aplicado em pré-emergência das plantas daninhas <i>U. decumbens</i> , <i>D. insularis</i> , <i>E. indica</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>I. grandifolia</i> e <i>D. aegyptius</i> aos 14 DAA.....	99
APÊNDICE H- Curva de dose-resposta de dicamba aplicado em pré-emergência das plantas daninhas <i>U. decumbens</i> , <i>D. insularis</i> , <i>E. indica</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>I. grandifolia</i> e <i>D. aegyptius</i> aos 21 DAA.....	100

1 INTRODUÇÃO

Herbicidas auxínicos atuam como análogos da auxina (IAA), em baixas concentrações, estimulam o crescimento via divisão, alongamento celular e diferenciação de tecidos. Em altas concentrações, promovem a desregulação homeostática e o desequilíbrio com outros reguladores vegetais inibindo o crescimento apical e radicular, culminando no colapso da estrutura da planta (Grossmann, 2003; Cobb, 1992). Devido a isto, são naturalmente reconhecidos por proporcionarem controle efetivo de plantas daninhas comumente denominadas de folhas largas com pouco efeito sobre espécies gramíneas ou seletividade as culturas, quando aplicados no momento recomendado.

Os herbicidas auxínicos proporcionam controle efetivo e em baixas doses de folhas largas, e são seletivos às culturas, como milho, trigo, arroz e cevada, quando aplicados no momento recomendado. Além disso, seu desenvolvimento foi decorrente do custo reduzido de produção e efetivos para expansão da produção de alimentos. A seletividade é dependente da quantidade do ingrediente ativo chegando no site alvo e diferenças de sensibilidade do sitio alvo. As plantas tolerantes conseguem metabolizar o herbicida através de reações de oxidação e conjugação, onde ocorre hidroxilação do anel aromático desativando os herbicidas (Cobb; Reade, 2010). Em membros da família Poaceae a seletividade ocorre devido à ausência de câmbio vascular, os tecidos vasculares espalhados, floema protegido por esclerênquima e presença de meristema intercalar que dificultam a translocação.

Em virtude do aparecimento de espécies resistentes à herbicidas, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas garantindo a resistência de culturas quando realizadas aplicações de herbicidas auxínicos. Essas tecnologias auxiliam no controle de espécies daninhas de folhas largas de difícil controle por meio de aplicações em pré ou pós-emergência da cultura.

O uso crescente dessas moléculas aliados a escassez de informações sobre efeitos em espécies daninhas, torna-se importante a condução de estudos para elucidação dos possíveis efeitos no sistema produtivo. Uma vez no solo, essas moléculas podem estar sujeitas aos processos de sorção, transporte, absorção pelas plantas e metabolismo microbiano, sendo a adsorção/ dessorção o processo que regula os demais processos no solo (Okada *et al.* 2016; Sun *et al.* 2019). E portanto, o destino e comportamento de um herbicida no ambiente dependem de suas

propriedades físico-químicas, da matriz e das condições ambientais. O efeito residual pode ser positivo (controle de plantas daninhas) ou negativo (carryover), afetando culturas em rotação/sucessão (Mendes *et al.*, 2023)

Por se tratar de uma alternativa importante no manejo de plantas daninhas, é esperado que ocorra uma larga adoção dessas novas ferramentas e apesar de convencionalmente não controlar efetivamente as espécies gramíneas, efeitos nesse grupos de espécies foram relatados, ainda que não sejam o alvo principal desses herbicidas (Gazola *et al.*, 2019, 2022). Uma das hipóteses deste estudo é que os herbicidas auxínicos apresentam efeito fitotóxico em gramíneas quando aplicados em pré-emergência. Nesse sentido, é considerável verificar o efeito dos herbicidas durante o processo de germinação, emergência, assim como a dinâmica dos herbicidas no solo e consequente controle.

Portanto, com o presente estudo buscou-se investigar os efeitos de 2,4-D e dicamba em pré-emergência de plantas daninhas da família Poaceae e, eudicotiledôneas, bem como, o comportamento dos herbicidas auxínicos em solos com características distintas e, fornecer subsídios para o manejo integrado de plantas daninhas em culturas agrícolas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Auxinas endógenas e sintéticas

As auxinas estão envolvidas na regulação de uma variedade de processos fisiológicos, como dominância apical, tropismos, filotaxia, alongamento do caule, indução da divisão celular cambial e iniciação da radícula (Buchanan; Gruissem; Jones, 2015).

Em altas concentrações, as auxinas sintéticas apresentam ação herbicida eficiente em folhas largas. A atividade da auxina em plantas é regulada principalmente pelo controle do conteúdo de IAA por meio de vários processos: biossíntese *de novo* e inativação por várias conjugações e vias catabólicas. Existem duas vias de biossíntese de IAA *de novo*, uma das quais é dependente do aminoácido o precursor l-triptofano e o outro é l-Trp-independente, embora a via dependente de l-Trp seja provavelmente dominante (Buchanan; Gruissem; Jones, 2015).

A hidrólise de conjugados IAA também libera auxina ativa. O conteúdo de IAA em tecidos pode ser influenciado pelo transporte polar basípeto resultando em movimento descendente de IAA dos meristemas apicais e folhas jovens em direção as raízes (Buchanan; Gruissem; Jones, 2015).

O alelo TAA1, que também desempenham um papel na biossíntese de auxina e no desenvolvimento da planta, foi identificado como um gene causal de mutantes insensíveis ao etileno, demonstrando menor sensibilidade de raízes ao etileno. O alelo codifica uma pequena família de aminotransferases muito semelhante a C-S liase e múltiplos mutantes desta família de genes apresentam fenótipos com defeitos no gravitropismo da raiz, organização da vasculatura e desenvolvimento de ramos e flores (Buchanan; Gruissem; Jones, 2015).

Alterações nas flores, menor produção de pólen e consequente infertilidade foram identificadas em plantas transgênicas, apesar de não ocorrer alterações em estádios vegetativos. Dependendo do tecido, há um aumento de duas a três vezes na quantidade de conjugados IAA - principalmente IAAAsp e IAA-Glu, com quantidades menores de 1-O-IAA-glicose. Assim, quando a produção de IAA é aumentada, a conjugação parece desempenhar um papel fundamental na regulação do tamanho do *pool* de IAA endógeno e na manutenção de um fenótipo quase normal (Buchanan; Gruissem; Jones, 2015).

Conforme Buchanan, Grissem e Jones, (2015), o aumento de IAA pode ser acompanhado por efeitos fenotípicos, incluindo dominância apical pronunciada, nanismo, formação excessiva de raízes adventícias, aumento da formação de floema e xilema, excesso de lignificação, epinastia foliar e produção anormal de flores, além da maior biossíntese de etileno.

A característica geral dos herbicidas auxínicos é que eles imitam a ação da auxina principal IAA. Quando presentes em baixas concentrações nos locais de ação das células, estimulam o crescimento e o desenvolvimento, como divisão celular e alongamento, diferenciação vascular, formação de raiz e domínio apical (Grossmann, 2003).

Em altas concentrações ocorre o fenômeno descrito como uma overdose de auxina levando a um desequilíbrio homeostático e interações com outros hormônios no tecido (COBB, 1992). O estímulo contínuo do metabolismo de ácidos nucleicos e síntese de proteínas, provoca desregulação do crescimento. A divisão e expansão celular desregulada provoca o colapso da estrutura de crescimento e inibição do crescimento apical da parte aérea e da raiz (Grossmann, 2003).

Crescimento anormal é induzido em outros tecidos resultando em inchaço e deformações. Concomitantemente, a divisão celular e diferenciação meristemática e as regiões das células cambiais são iniciadas transitoriamente. Esses tecidos recém-formados foram assumidos como “Sumidouros metabólicos” levando à mobilização e atração de reservas de carboidratos e proteínas provenientes de tecidos funcionais, que senesce ao nutri-los (Van Overbeek, 1964; Cobb, 1992).

Os eventos induzidos pelas concentrações herbicidas de auxinas nos tecidos podem apresentar três fases. A primeira é uma fase de estimulação, após as primeiras horas após a aplicação. Nesta fase, ocorre ativação de processos metabólicos, como biossíntese de etileno através da indução de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) sintase no tecido da parte aérea (1-2 h), seguida por sintomas de deformação do crescimento (3-4 h), início da ondulação do caule, inchaço do tecido e folha epinástica. Posteriormente, há acúmulo de ABA, detectável no tecido após 5-8 h (Grossmann, 2003).

A segunda fase ocorre dentro de 24 h, onde são observados inibição do crescimento da raiz e, em maior medida, do broto, diminuição do alongamento do entrenó e área foliar, e folha com pigmentação verde escura. Concomitantemente,

reduções na abertura estomática, transpiração, assimilação de carbono e formação de amido (Grossmann, 2003).

A terceira fase é reconhecida por ocasionar a senescência e decadência do tecido, com danos aos cloroplastos, clorose progressiva decorrente da desintegração da membrana e do sistema vascular, dessecação, necrose e morte da planta (Grossmann, 2003).

O etileno é um hormônio gasoso envolvido nas respostas da planta ao estresse e à regulação de senescência e crescimento (Abeles; Morgan; Saltveit, 1992; Kende; Zeevaart, 1997). Atua na orientação dos microtúbulos transversais para uma orientação longitudinal promovendo expansão lateral da célula levando ao inchaço dos caules e raízes (Abeles; Morgan; Saltveit, 1992). Além disso, o etileno induzido medeia os efeitos da auxina, como a abscisão da folha e epinastia, e regula os níveis de auxina localmente através do transporte de auxina inibido por etileno (Abeles; Morgan; Saltveit, 1992).

Síntese de ACC induzida pela atividade da auxina resulta em níveis aumentados de ACC, em paralelo ao aumento da formação de etileno (Abeles, Morgan, Saltveit, 1992). Por outro lado, de acordo com seu comportamento bifásico, baixas concentrações de auxinas foram encontrados para diminuir a atividade da ACC sintase e ACC e formação de etileno (Grossmann; Retzlaff, 1997).

Acúmulos massivos de ABA na raiz e ainda mais no tecido do caule foram encontrados usando perfis fito-hormonais de extratos de plantas (Scheltrup; Grossmann, 1995). Em contraste, as concentrações de outros fitohormônios, incluindo giberelinas, citocininas, IAA endógeno (Scheltrup; Grossmann, 1995) e ácido jasmônico foram modificados apenas moderadamente (Grossmann, 2003).

Estudos com órgãos isolados de plantas demonstraram que aumentos induzidos por auxina em etileno e ABA ocorrem principalmente no tecido do caule. A partir daí, ABA parece ser translocado para as raízes (Grossmann, 2000a; Grossmann, 2000b).

Uma vez que as auxinas são rapidamente absorvidas pela folha e translocadas por toda a planta, um desequilíbrio do regulador de crescimento é claramente evidente, os sistemas de controle estão sobrecarregados e o crescimento é drasticamente alterado por concentrações supra-ótimas de auxina (Cobb; Reade, 2010).

2.1.1 Dicamba

O herbicida ácido 2-metóxi-3,6-diclorobenzoico, popularmente conhecido como dicamba pertence ao mecanismo de ação dos mimetizadores de auxina, classificado como grupo 4 pela HRAC (2024) ao grupo químico dos ácidos benzoicos.

O dicamba é caracterizado como um ácido forte com pKa de 1,87 apresenta alta solubilidade em água (250000 mg l^{-1}), baixa partição octanol água (K_{ow} : $1,58 \times 10^{-2}$), baixa pressão de vapor (P_v : 1,67 mPa) e volatilidade (H : $5,06 \times 10^{-5}$). É um composto não persistente no solo, uma vez que a meia vida é de cerca de 4 dias (DT_{50}) e baixo potencial de lixiviação (GUS : 1,94) (PPDB, 2024).

Chang e Vanden Born (1971) avaliaram os comportamentos de absorção, translocação e metabolismo de dicamba em espécies de plantas daninhas e culturas gramíneas. Em trigo sarraceno tartário (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) e mostarda selvagem (*Sinapis arvensis* L.) um dia após aplicação de ^{14}C -Dicamba foram acumuladas em folhas jovens em desenvolvimento ativo no ápice da broto. Já em cevada e trigo, a distribuição foi pouco uniforme com uma tendência de acúmulo no ápice das folhas de trigo, porém a maior parte parecia permanecer nas folhas tratadas. Os dados quantitativos indicaram que a absorção de dicamba pelos tecidos da folha de trigo sarraceno tartário e mostarda selvagem foi muito mais rápida e mais completa do que pelas duas espécies de cereais, além da maior translocação comparado a cevada e o trigo.

Os autores testaram também a absorção através das raízes e verificaram o mesmo padrão de distribuição observado para aplicação na parte aérea, exceto que houve mais atividade nas raízes após a aplicação por meio da solução nutritiva. A distribuição ocorreu de forma intermediária pelas plantas das duas espécies de cereais, enquanto nas duas espécies de plantas daninhas houve acúmulo nas folhas jovens (Chang; Vanden Born, 1971).

Em todas as espécies houve metabolismo desse herbicida, embora o dicamba 5-OH pareceu estar presente apenas como um conjugado em todas as quatro espécies, sendo que, o dicamba permaneceu em grande parte em sua forma inalterada. Quantidades inferiores de dicamba conjugado foram detectadas no trigo, cevada e na mostarda selvagem, e ausentes no trigo sarraceno tartário. Claramente, a desintoxicação do dicamba no trigo foi muito rápida, quase metade do herbicida foi metabolizado em 1 dia, e 93% estava em formas diferentes de dicamba livre 20 dias

após a aplicação (Chang; Vanden Born, 1971). Portanto, a absorção seletiva, translocação e metabolismo de dicamba por trigo, cevada, mostarda selvagem e trigo sarraceno tartário desempenham um papel importante em sua suscetibilidade ou resistência a este herbicida (Chang; Vanden Born, 1971).

Estudos recentes com tomate selvagem e acessos apresentando tolerância ao herbicida, Zangoueinejad, Alebrahim e Tseng (2021) verificaram que o acesso tolerante teve menor absorção do composto, no entanto a translocação foi similar entre os acessos suscetíveis e tolerantes. Os autores sugerem que a menor absorção poderia estar associada as características morfológicas da folha, como razão entre comprimento e largura e densidade de tricomas.

Em *Chenopodium album* Ghanizadeh; Harrington; James, (2018) observaram que cerca de 80% do aplicado foi absorvido em biótipos suscetíveis e resistentes, e cerca de 18% do dicamba absorvido foi translocado para o caule.

2.1.2 2,4-D

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético está atualmente registrado em uma variedade de formulações de sal, amina e éster para o controle de plantas daninhas de folha larga (Yamada, 2011). O 2,4-D é caracterizado como um ácido forte com pKa de 3,4 apresenta alta solubilidade em água (24300 mg l^{-1}), baixa partição octanol água (Kow: $1,51 \times 10^{-1}$), baixa pressão de vapor (Pv: 0,009 mPa) e volatilidade (H: $4,0 \times 10^{-6}$). É um composto não persistente no solo, uma vez que a meia vida é de cerca de 28,8 dias (DT₅₀) e apresenta alto potencial de lixiviação (GUS: 3,82) (PPDB, 2024).

Os cloroplastos têm sido considerados o alvo inicial do 2,4-D, uma vez que o produto químico é principalmente acumulado e posteriormente metabolizado nessas organelas. A assimilação de carbono e as reações fotoquímicas podem ser pronunciadas por baixas concentrações de 2,4-D, enquanto concentrações mais altas se mostram inibidoras. Ao inibir a reação de Hill, o 2,4-D bloqueia o transporte de elétrons no fotossistema II. O teor de clorofila e carotenóide, assim como a relação clorofila / benzoquinona, são reduzidos em 2,4-D, enquanto a relação xantofila / caroteno aumenta devido ao herbicida, efeitos esses que desencadeiam a senescência da maquinaria fotossintética (Pazmiño; Romero-Puertas; Sandalio, 2012).

Os efeitos observados em espécies de gramíneas foram observados por Teel (1952 *apud* Klomp; Hull, 1968) através de lesões em mudas de grama durante o estágio de 1 a 3 folhas com 840 g ha⁻¹ A de 2,4-D. Watson (1949, *apud* Klomp; Hull, 1968) verificou que quantidades normais de 2,4-D causaram malformação e injúrias em plântulas de capim-bravo (*Agrostis canina* L.) com 28 dias de idade. Phillips (1949 *apud* Klomp; Hull, 1968) observou em gramíneas de verão e inverno danos quando pulverizadas sob a forma de amina de 2,4-D a 560 e 1123 g ha⁻¹ na emergência, porém sem lesões aos 2, 4 e 8 semanas após a emergência. As espécies da estação fria foram menos afetadas do que as espécies da estação quente e a taxa de danos em todas as espécies diminuiu em datas posteriores e taxas mais baixas. No entanto, Klingman (1959 *apud* Klomp; Hull, 1968) não relatou nenhum dano herbicida duradouro a mudas de gramíneas de estação quente ou fria.

Segundo Klomp e Hull, (1968) mudas de grama sofreram lesões quando pulverizadas em estágios de crescimento suscetíveis ou com taxas muito altas de 2,4-D, podendo haver recuperação se as injúrias não forem severas. Indicando que, as pulverizações após estágios de 2 a 4 folhas os danos são menores.

Além das pulverizações foliares, as mudas de grama também podem ser danificadas por herbicidas transportados para a planta pela água de superfície ou lixiviados para baixo para germinar a semente ou para as raízes (Klomp; Hull, 1968).

O modo de ação dos herbicidas auxínicos é dependente da dose, sensibilidade dos tecidos e espécie. Poucas horas após a aplicação, alguns sintomas podem ser observados, como distorções de crescimento em toda a planta, dando origem epinastia da folha e curvatura do caule, culminando em senescência e morte.

A seletividade em pós-emergência de herbicidas auxínicos está geralmente associada as reações metabólicas no anel de hidroxilação seguidas por conjugação irreversível a glucose (Devine; Duke; Fedtke, 1981). Já em eudicotiledôneas sensíveis, podem ser conjugados a aminoácidos e nesta forma reversível pode ser parcialmente ativado e promover efeito herbicida (Scheel; Sandermann, 1981).

Em *Amaranthus tuberculatus* Figueiredo *et al.* (2018) verificou que não houve diferenças entre absorção e translocação entre o biótipo suscetível e resistente. No entanto, o biótipo resistente apresentou maior metabolização do composto, onde, a meia-vida foi de 22 h enquanto que no biótipo suscetível foi de 105 h.

2.2 Dinâmica de herbicidas no solo

Os herbicidas aplicados nos ambientes agrícolas são depositados direta ou indiretamente no solo. Tais moléculas podem permanecer na solução do solo e passível de ser absorvida por estruturas vegetais ou retidos pela matriz do solo, sujeito aos processos de retenção, transporte e transformação.

O processo de retenção envolve a adsorção aos coloides do solo, precipitação e absorção, e estes influenciam a intensidade do transporte (deriva, escoamento superficial, lixiviação e volatilização) e da transformação (degradação química, degradação biológica e fotodegradação). A sorção de herbicidas no solo envolve a absorção, a precipitação e a adsorção, que por sua vez regula o processo de retenção e influencia no transporte, transformação e biodisponibilidade das moléculas no solo (Oliveira; Brighenti, 2011).

A dinâmica dos herbicidas também é regida pelas características intrínsecas aos solos e aos herbicidas e suas interações. A dinâmica de herbicidas é influenciada por características do solo como o teor de matéria orgânica, pH, tipo e quantidade de argila. Tais processos se inter-relacionam e são fortemente dependentes das características físico-químicas dos herbicidas; das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; e das condições ambientais.

2.2.1 Características físico-químicas dos herbicidas

As principais propriedades físico-químicas dos herbicidas que determinam seu comportamento no ambiente são solubilidade em água (S), pressão de vapor (Pv), coeficiente de partição octanol-água (Kow), constante de ionização ácida (pKa) ou básica (pKb), constante da lei de Henry (H), meia-vida ($t_{1/2}$), coeficiente de sorção na fração mineral do solo (K_d) e coeficiente de sorção normalizado para o teor de carbono orgânico (K_{oc}).

Herbicidas com maior solubilidade em água são geralmente menos retidos no solo e mais suscetíveis à degradação e transporte, como lixiviação (Silva *et al.*, 2014). Quando aplicado sobre a cobertura morta, a solubilidade irá definir a capacidade de penetração do herbicida no solo (Carbonari *et al.*, 2022). Já aqueles com alta pressão de vapor mudam para o estado de vapor mais facilmente, são menos solúveis em água, menos adsorvidos e mais propensos à fotólise. Enquanto, aqueles com baixa

pressão de vapor são mais adsorvidos, mais solúveis, menos voláteis e, portanto, mais persistentes.

O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) indica a afinidade do herbicida por meios aquosos ou orgânicos (Day *et al.*, 1998). Herbicidas lipofílicos (alto K_{ow}) têm maior afinidade por compostos orgânicos e maior adsorção à matéria orgânica ou ceras nas folhas. Geralmente, herbicidas apolares/hidrofóbicos ($K_{ow} > 10.000$) adsorvem-se mais à fração orgânica do solo, enquanto herbicidas polares/hidrofílicos ($K_{ow} < 10$) têm maior afinidade pela fração mineral (Silva *et al.*, 2007).

A constante de ionização (pK_a ou pK_b) descreve a reatividade e interação dos herbicidas com o solo. Herbicidas podem ser classificados como ionizáveis ou não ionizáveis (neutros). Herbicidas ácidos ou básicos fracos podem ser parcialmente ionizados em solução aquosa, dependendo do pH do solo (Mendes *et al.*, 2023).

Em solos agronômicos ($pH > pK_a$), herbicidas ácidos fracos são encontrados principalmente na forma aniônica (carga negativa), enquanto herbicidas básicos fracos estão na forma neutra (sem carga). Herbicidas aniônicos têm baixa sorção ao solo e maior potencial de lixiviação, enquanto herbicidas básicos em solos ácidos ($pH < pK_b$) são mais adsorvidos e têm menor lixiviação (Mendes *et al.*, 2023).

A meia-vida ($t_{1/2}$) é o tempo necessário para dissipação da metade das moléculas do herbicida via degradação, metabolização ou formação de resíduos ligados (Silva *et al.*, 2007). A meia-vida também será dependente das características do solo como, textura, pH e, teor de matéria orgânica, população microbiana, do ambiente como a radiação, temperatura e, precipitação e das práticas culturais.

A sorção dos herbicidas é avaliada pelo coeficiente de sorção (K_d), que representa a relação entre a concentração de herbicida sorvido ao solo (C_s) e a concentração em solução (C_e) após equilíbrio (Weber *et al.*, 2004). Este coeficiente geralmente é normalizado em relação a quantidade de carbono orgânico no solo (K_{oc}), indicando a tendência de sorção do herbicida pela matéria orgânica do solo e portanto, mais específico para o tipo de solo.

2.2.2 Características físico-químicas dos solos

Os processos de sorção e dessorção de herbicidas são significativamente influenciados pelas características do solo, como pH, composição de areia, silte e argila, conteúdo de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC) (Oliveira;

Brighenti, 2011; Silva *et al.*, 2007). De acordo com Mancuso *et al.* (2011), solos tropicais tendem a apresentar maior adsorção de herbicidas catiônicos. Isso ocorre porque esses solos possuem altos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, além de uma predominância de minerais de argila do tipo 1:1, resultado do avançado processo de intemperização.

Os ácidos fúlvicos e húmicos aumentam a superfície específica do solo e possuem grupos funcionais que interagem com herbicidas. Essas interações podem reduzir a atividade biológica e a mobilidade dos herbicidas no solo (De Paolis; Kukkonen, 1997). Em sistemas onde se mantém uma cobertura morta na superfície do solo, pode ocorrer alteração na dinâmica de herbicidas pré-emergentes de acordo com a interceptação, retenção e degradação desses herbicidas. Bem como, dependentes de precipitação para carregamento até o solo e consequente controle de plantas daninhas (Matos *et al.*, 2016).

A textura do solo influencia diversos fatores, como os teores de matéria orgânica, aeração, temperatura, umidade e infiltração. Solos de textura fina tendem a diminuir a taxa de degradação dos herbicidas, enquanto solos de textura grossa possuem um maior potencial para lixiviação (Dharumarajan; Sankar; Arun, 2008; Sondhia, 2007).

A umidade do solo apresenta papel importante na retenção e persistência dos herbicidas, reduzindo a hidrofobicidade dos compostos orgânicos (Ochsner *et al.*, 2006). Conforme observado por Gupta *et al.* (2012), a mobilidade e a persistência do herbicida 2,4-D variam de acordo com o teor de água no solo. Além disso, a temperatura do solo geralmente está inversamente relacionada à persistência dos herbicidas. Sireesha (2011) verificou que temperaturas mais altas aumentam a degradação dos herbicidas.

O pH do solo exerce um papel importante na persistência de herbicidas, influenciando-a de diversas maneiras. Em alguns casos, um pH mais elevado pode prolongar a persistência do herbicida (Brar *et al.*, 2006). Já em outros, o efeito oposto é observado, com pH mais baixo resultando em maior persistência (Grey *et al.*, 1997).

Essa variação se deve à adsorção dos herbicidas pelas partículas do solo, que é influenciada pelo pH. Quando o pH do solo se aproxima do pH do herbicida, a retenção do herbicida é maximizada, reduzindo a lixiviação. Isso se deve à adsorção do herbicida às partículas do solo presentes na superfície, além da degradação acelerada por microrganismos que lá habitam. Vale ressaltar que a maior parte dos

herbicidas aplicados se concentra na superfície do solo, onde a atividade microbiológica é mais intensa. Uma vez que, as populações de microrganismos são mais abundantes na camada superficial do solo, especialmente em sistemas conservacionistas de agricultura (Kabir, 2005).

2.2.3 Processos de retenção, transporte e transformação

Os herbicidas podem estar sujeitos a diferentes processos sendo eles, processos de retenção que envolvem sorção, transporte e, transformação. Tais processos estão interligados e normalmente interagem entre si, resultando na dinâmica dos herbicidas no ambiente.

A sorção é a habilidade de retenção de herbicidas pela fase sólida do solo. Em geral, o processo de sorção engloba os mecanismos de precipitação, absorção e a adsorção (Oliveira; Brighenti 2011). A precipitação ocorre a partir da formação de precipitados entre as moléculas de herbicida e as partículas argilominerais, formando uma fase sólida denominado resíduo ligado. A absorção das moléculas pode ser feita tanto pelas plantas quanto pelos microrganismos. A adsorção é o processo de retenção das moléculas do herbicida na superfície dos colóides do solo (Weber; Wilkerson; Reinhardt 2004).

Este processo é reversível e o retorno das moléculas para a solução do solo denomina-se dessorção. A intensidade desse processo depende das características do solo e do herbicida (Bonfleur; Barizon; Mendes, 2022).

O transporte das moléculas de herbicida ocorre via escoamento superficial, lixiviação, volatilização e deriva (Mendes *et al* 2023). A intensidade é regida pela capacidade de adsorção e dessorção dos produtos, o pH e teor de água do solo; o período e a intensidade da chuva ou irrigação após a aplicação; o manejo do solo, entre outros.

Para atingir as plântulas em germinação e consequente controle das espécies, a incorporação dos herbicidas no solo ocorre primariamente através da lixiviação. No entanto, quando esse processo ocorre excessivamente, os herbicidas apresentam reduzido desempenho e ainda podem ser carregados para camadas mais profundas ocasionando contaminação do lençol freático (Velini, 1992).

A deriva de herbicidas, principalmente auxinas sintéticas, tem ganhado destaque devido à liberação de cultivares geneticamente modificadas de milho, soja

e algodão resistentes ao 2,4-D e dicamba, resultando no aumento do uso desses produtos. A deriva de 2,4-D e dicamba pode resultar em perdas quantitativas e qualitativas na produção de culturas sensíveis plantadas em áreas adjacentes a eventos transgênicos que utilizam esses herbicidas. O uso de pontas de pulverização adequadas, volume de aplicação, aplicação nas condições ambientais recomendadas e uso de adjuvantes para redução de deriva e volatilização têm sido alternativas para evitar efeitos adversos fora do alvo (Brochado *et al.*, 2021; Carbonari *et al.* 2022b).

Os processos de transformação das moléculas no solo e na água são decorrentes da degradação dos herbicidas em compostos secundários, até a completa mineralização determinando sua persistência nos solos. Na presença de oxigênio os herbicidas são mineralizados em CO₂ e água e na ausência, são mineralizados na forma de CH₄, CO₂ e água (OECD 2002). A população microbiana encontra-se nas camadas superficiais do solo, onde o conteúdo de matéria orgânica é maior, e quantidades adequadas dos componentes solo, água e ar (Gebler; Spadotto, 2008). Portanto, dependendo da disponibilidade de oxigênio e intensidade de lixiviação haverá alteração na velocidade de degradação e persistência dos herbicidas no solo.

A fotodegradação, por um lado, pode ser vantajosa, pois reduz a persistência excessiva dos resíduos químicos, diminuindo o risco de contaminação ambiental. Como também pode ser prejudicial quando ocorre rapidamente após a aplicação do herbicida, ocasionando perda de eficácia no controle de plantas daninhas. Essa situação é particularmente preocupante para herbicidas de ação rápida que se decompõem na camada superior de 3 mm do solo. Nesses casos, a incorporação ao solo no momento da aplicação é crucial para garantir a efetividade do produto, minimizando o impacto da fotodegradação (Monquero; Silva, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento I- Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D na germinação de sementes de plantas daninhas

O experimento foi conduzido no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Botucatu-SP durante os anos de 2021 e 2022.

As espécies daninhas da família Poaceae utilizadas foram *Urochloa decumbens* (*U. decumbens*), *Digitaria insularis* (TRCIN) e *Eleusine indica* (ELEIN) além das espécies eudicotiledôneas *Amaranthus hybridus* (AMACH), *Ipomoea grandifolia* (IAQGR) e *Distimake aegyptius* (CONAE). As sementes foram mantidas em incubadora BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) e submetidas as concentrações 0; 0,5; 1; 5 e 10 ppm de dicamba (Atectra®) e 2,4-D (DMA® 860 BR). Tais concentrações foram escolhidas levando-se em consideração uma aplicação da dose média recomendada em bula disponível em uma camada de solo de 10 cm com densidade média de 1,25 g cm³ e capacidade de retenção de água de 20%. As sementes de IAQGR e CONAE foram tratadas com StandakTop® (piraclostrobina+tiofanato-metílico+fipronil) e Carbendazim® (Carbendazim) a 500 e 100 mL por 100Kg semente, respectivamente.

Os experimentos foram conduzidos em duplicata sob delineamento inteiramente casualizado em fatorial duplo 5 x 2, considerando as concentrações e herbicidas como fatores. As unidades experimentais foram constituídas de duzentas (200) sementes de cada espécie distribuídas em quatro (4) repetições em recipientes do tipo gerbox. As sementes foram alocadas sob duas folhas de papel germitest embebidas com a solução herbicida em três vezes a massa do papel. As amostras permaneceram em temperatura de 25/20°C (dia/noite) e fotoperíodo de 16/8h (dia/noite).

A germinação em relação a testemunha (%), sementes deformadas em porcentagem das plântulas germinadas (consideradas plantas mortas ou com emissão de duas partes aéreas ou raízes), o comprimento de parte aérea e raízes (dadas em porcentagem da testemunha) e a descrição dos efeitos fitotóxicos foram contabilizados aos 7 e 14 dias após instalação. Foram mensuradas aleatoriamente seis plântulas por repetição.

Os dados foram submetidos a análise de variância e quando significativos as médias foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, realizadas no ambiente R (R Core Team, 2016).

3.2 Experimento II- Sorção e disponibilidade de herbicidas auxínicos em solos com características distintas

O experimento foi realizado no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Botucatu-SP durante o ano de 2022.

O experimento foi conduzido em fatorial duplo 4 x 39 com 4 repetições e inteiramente casualizado em duplicata. O fator A foi constituído dos herbicidas picloram, triclopyr, aminopyralid e 2,4-D (Tabela 1) e o Fator B constituído pelos diferentes solos (Tabela 2 e 3).

Tabela 1- Características físico-químicas dos herbicidas picloram, triclopyr, aminopyralid e 2,4-D utilizadas no experimento de sorção

Herbicida	Massa molecular	Solubilidade em água (mg L ⁻¹)	log Kow	Densidade (g mL ⁻¹)	pKa	Classificação
Picloram	241,46	488	-1,92	1,81	1,8	Ácido forte
Triclopyr	256,47	8100	-0,45	1,3	3,97	Ácido fraco
Aminopyralid	207,03	2480	-2,87	1,76	2,56	Ácido forte
2,4-D	266,12	24300	-0,82	1,565	2,8	Ácido fraco

Fonte: PPDB (2024)

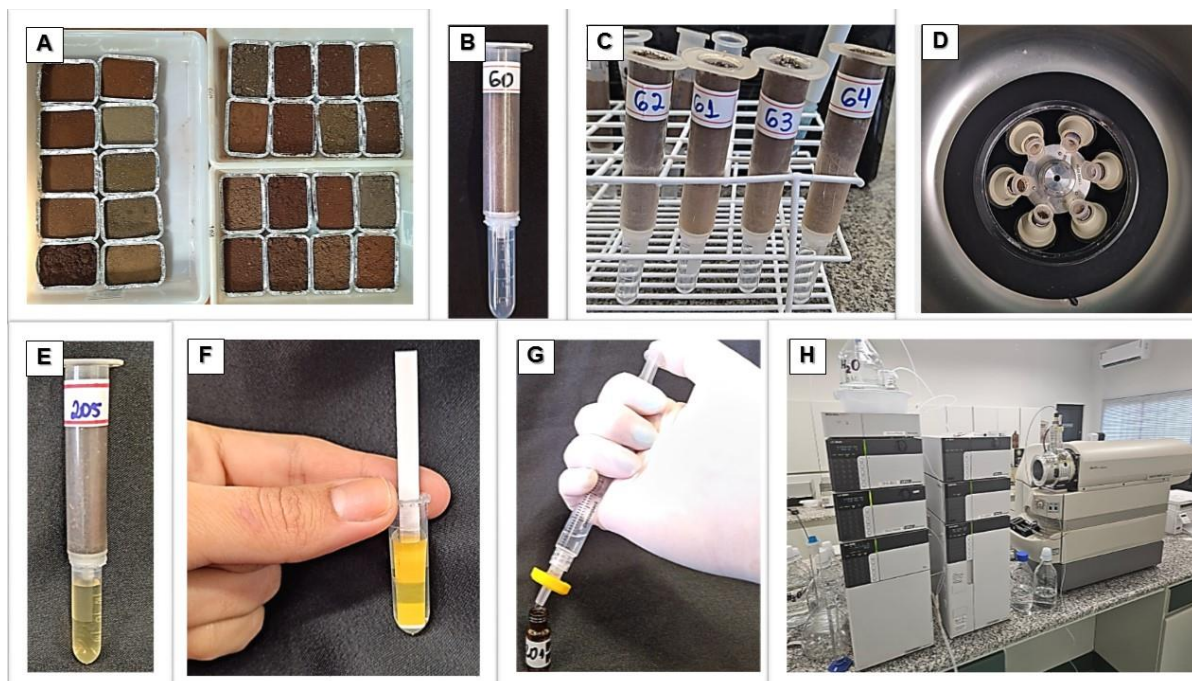
Os solos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 25°C, peneirados e 7 g de solo foram pesados (variação de 0,0000 a 0,0010) em cartuchos plásticos de capacidade volumétrica de 10 mL com dois filtros de fibra de vidro para retenção de partículas de solo e acoplados a um tubo coletor de 3 mL do tipo *ependorf* (adaptado de Carbonari, 2009).

As amostras de solo foram saturadas com uma solução preparada com os padrões analíticos dos herbicidas na concentração de 200 ppb. A saturação ocorreu-se de forma que todo o solo recebesse uma quantidade de solução sem ocorrer o extravasamento para o tubo coletor determinada de forma visual. A quantidade variou de 1,6 a 3,5 mL para os solos de textura média e siltosos, e, de 1,4 a 4 mL para os

argilosos e arenosos. Após a saturação os solos foram cobertos por filme plástico PVC mantidos em repouso durante 24h em ambiente escuro e temperatura ambiente ($21^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$).

A extração da solução do solo foi realizada por meio da centrifugação dos cartuchos a 5500 rpm, a 20°C por 3 minutos e 30 segundos (centrífuga Hettich Zentrifugen). O pH da solução presente no coletor foi medida utilizando tiras universais de pH (Kasvi) e o filtrado com seringas plásticas de 3 ml equipadas com filtro Millex - HV (membrana de PVDF $0,45\ \mu\text{m}$ e $13,0\ \text{mm}$ diâmetro) em frascos do tipo “vial” de cor âmbar de 2,0 mL. Os vials foram armazenados em freezer ($-20 \pm 3^{\circ}\text{C}$) até o momento da quantificação dos herbicidas por cromatografia e espectrometria de massas (Figura 1).

Figura 1- Solos utilizados no ensaio de sorção (A), saturação dos solos nos cartuchos com solução padrão dos herbicidas a 200 ppb (B,C), centrifugação das amostras de solo (D), medição do pH da solução extraída (F), filtragem das amostras (G) e quantificação dos herbicidas por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) e espectrometria de massas (H)



Fonte: Ivana Santos Moisinho (2022)

Tabela 2- Características químicas das amostras de solo utilizadas no experimento

Nº	CIDADE	ESTADO	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al ³⁺ mmolc dm ⁻³	H	H + Al ³⁺	S.B.	C.T.C	m%	V%
1	Ibirubá	RS	31,7	4,4	143,3	3,9	27,7	10,5	19,3	69,2	88,5	42,2	130,6	31,4	32,3
2	Garibaldi	RS	50,0	6,9	259,0	17,8	376,2	42,4	0,0	15,6	15,6	436,4	451,9	0,0	96,6
3	Ganguçu	RS	16,2	5,1	5,7	1,1	31,3	13,9	0,0	27,1	27,1	46,3	73,4	0,0	63,0
4	São Vicente do Sul/Mata	RS	11,4	5,8	13,4	0,9	52,8	8,7	0,0	12,2	12,2	62,4	74,6	0,0	83,6
5	São Pedro do Sul	RS	10,4	4,0	0,6	1,3	17,2	8,0	60,5	104,8	165,3	26,5	191,8	69,5	13,8
6	Santiago	RS	29,6	4,4	0,6	2,1	24,8	6,4	19,9	54,5	74,4	33,2	107,6	37,5	30,9
7	Bossoroca	RS	24,9	4,0	13,4	1,8	13,3	6,2	23,3	62,0	85,3	21,3	106,6	52,3	20,0
8	São Luiz Gonzaga	RS	14,1	6,5	39,5	3,2	174,9	44,1	0,0	17,5	17,5	222,1	239,6	0,0	92,7
9	São Luiz Gonzaga	RS	13,9	6,1	48,9	3,0	93,2	39,1	0,0	17,8	17,8	135,3	153,1	0,0	88,4
10	Arapoti	PR	22,4	4,0	10,5	1,2	8,0	3,1	6,9		46,1	12,3	58,4		21,1
11	Castro	PR	24,9	4,4	6,2	1,9	23,1	6,3	9,4		67,2	31,3	98,5		31,7
12	Carambei	PR	23,4	4,4	13,0	2,2	15,9	7,7	5,6		46,1	25,8	71,9		35,9
13	Tibagi	PR	71,4	7,1	45,3	3,9	276,1	136,9	0,0		10,8	416,9	427,7		97,5
14	Ponta Grossa	PR	84,3	5,1	38,5	3,7	82,6	31,5	0,0		80,4	117,9	198,3		59,5
15	Ponta Grossa	PR	32,3	4,0	11,4	1,6	6,9	5,2	18,8		73,1	13,7	86,8		15,7
16	Castro	PR	59,5	5,3	89,9	1,5	115,0	6,7	0,0		39,8	123,2	163,0		75,6
17	Castro	PR	11,0	5,1	6,2	2,1	13,4	3,3	0,0		15,3	18,8	34,0		55,1
18	Rinópolis	SP	49,1	6,2	96,9	9,5	194,5	45,6	0,0		22,8	249,6	272,4		91,6
19	Rinópolis	SP	16,4	4,7	53,6	3,0	20,3	4,9	2,5		23,0	28,2	51,2		55,0
20	Marechal Candido Rondon	PR	26,7	6,8	155,6	7,9	185,8	82,7	0,0		12,6	276,4	289,0		95,6
21	São Manuel	SP	10,6	7,2	67,0	3,0	71,6	52,8	0,0	7,9	7,9	127,4	135,3	0,0	94,1
22	São Manuel	SP	10,4	5,8	5,9	1,1	19,7	10,0	0,0	11,6	11,6	30,7	42,3	0,0	72,6
23	São Manuel	SP	4,1	4,4	51,5	2,0	9,4	2,9	10,2	7,5	17,7	14,4	32,1	41,6	44,7
24	Lençóis Paulista	SP	18,7	6,3	29,8	0,8	51,3	20,2	0,0	11,6	11,6	72,3	83,9	0,0	86,2
25	Aral Moreira	MS	29,2	5,6	25,6	2,0	60,8	11,1	0,0	28,2	28,2	73,9	102,0	0,0	72,4
26	Paranapanema	SP	19,2	4,9	86,9	11,8	79,1	27,1	4,3	61,9	66,3	117,9	184,2	3,6	64,0
27	Paranapanema	SP	34,0	5,1	74,7	5,4	65,7	30,8	0,0	43,8	43,8	101,9	145,7	0,0	69,9
28	Paranapanema	SP	20,7	5,6	109,8	2,9	110,0	34,1	0,0	37,0	37,0	147,0	184,0	0,0	79,9
29	Taquarituba	SP	40,6	5,6	99,6	7,1	99,2	47,1	0,0	38,6	38,6	153,3	191,9	0,0	79,9
30	Itaí	SP	47,9	6,1	45,1	2,6	210,9	36,5	0,0	24,3	24,3	250,0	274,3	0,0	91,1
31	Piraju	SP	11,9	5,6	61,3	1,1	36,7	29,5	0,0	15,8	15,8	67,3	83,1	0,0	81,0
32	Jaú	SP	36,5	7,1	93,6	8,0	220,2	72,6	0,0	12,5	12,5	300,7	313,2	0,0	96,0
33	Salto Grande	SP	18,9	7,3	110,9	6,9	1358,0	638,5	0,0	10,3	10,3	2003,4	2013,7	0,0	99,5
34	Ourinhos	SP	29,6	5,2	59,8	5,5	50,4	25,1	0,0	37,0	37,0	80,9	117,9	0,0	68,6
35	Canitar	SP	24,9	6,1	84,5	6,6	84,8	24,2	0,0	21,2	21,2	115,5	136,7	0,0	84,5
36	Riolândia	SP	32,8	5,4	40,0	5,2	56,2	19,3	0,0	36,6	36,6	80,7	117,3	0,0	68,8
37	Jesuítas	PR	38,1	6,0	374,5	11,6	276,0	39,0	0,0	27,3	27,3	326,6	353,8	0,0	92,3
38	São Manuel	SP	9,1	5,9	15,1	0,9	22,0	13,0	0,0	12,5	12,5	35,8	48,3	0,0	74,0
39	Botucatu	SP	19,6	4,1	6,2	1,3	6,9	4,8	10,9	61,6	72,5	12,9	85,4	45,7	15,1

Nº	CIDADE	ESTADO	m%	V%	S	*B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn
1	Ibirubá	RS	31,4	32,3	15,4	0,3	6,8	36,0	85,2	4,3
2	Garibaldi	RS	0,0	96,6	35,7	0,5	16,2	131,0	28,2	7,6
3	Ganguçu	RS	0,0	63,0	3,3	0,2	0,8	54,8	25,9	1,8
4	São Vicente do Sul/Mata	RS	0,0	83,6	5,0	0,1	1,1	25,5	13,6	0,6
5	São Pedro do Sul	RS	69,5	13,8	3,6	0,2	1,0	100,5	8,7	0,4
6	Santiago	RS	37,5	30,9	3,8	0,2	1,6	54,3	45,4	0,7
7	Bossoroca	RS	52,3	20,0	22,6	0,2	6,8	16,0	106,1	1,5
8	São Luiz Gonzaga	RS	0,0	92,7	2,3	0,2	6,1	15,3	45,7	0,7
9	São Luiz Gonzaga	RS	0,0	88,4	11,8	0,2	4,6	15,5	29,4	1,7
10	Arapoti	PR		21,1	0,7	0,1	0,6	184,0	10,0	1,0
11	Castro	PR		31,7	42,3	0,1	2,2	128,2	2,4	0,7
12	Carambei	PR		35,9	8,0	0,1	1,9	160,4	2,9	2,5
13	Tibagi	PR		97,5	16,2	0,5	0,6	25,8	10,9	1,3
14	Ponta Grossa	PR		59,5	24,8	0,2	4,4	169,6	8,0	1,5
15	Ponta Grossa	PR		15,7	4,8	0,1	1,5	228,4	4,9	2,7
16	Castro	PR		75,6	33,2	0,1	4,9	257,1	27,6	3,3
17	Castro	PR		55,1	5,2	0,1	0,9	34,2	10,0	1,0
18	Rinópolis	SP		91,6	12,2	0,3	2,6	66,7	7,1	0,7
19	Rinópolis	SP		55,0	10,5	0,2	1,2	99,6	8,7	3,6
20	Marechal Candido Rondon	PR		95,6	13,8	0,3	6,4	3,8	15,3	1,2
21	São Manuel	SP	0,0	94,1	6,0	0,1	2,1	5,3	13,9	4,1
22	São Manuel	SP	0,0	72,6	7,4	0,1	1,0	16,3	5,7	0,5
23	São Manuel	SP	41,6	44,7	14,5	0,1	1,2	10,3	17,0	0,9
24	Lençóis Paulista	SP	0,0	86,2	9,2	0,1	0,8	34,3	2,8	0,3
25	Aral Moreira	MS	0,0	72,4	30,6	0,2	5,4	24,4	12,3	4,7
26	Paranapanema	SP	3,6	64,0	35,0	0,4	1,3	111,2	42,7	2,5
27	Paranapanema	SP	0,0	69,9	19,4	0,4	1,3	71,0	13,2	2,4
28	Paranapanema	SP	0,0	79,9	112,0	0,3	0,8	33,6	5,5	2,5
29	Taquarituba	SP	0,0	79,9	20,3	0,3	3,2	34,8	9,7	4,4
30	Itaí	SP	0,0	91,1	8,4	0,3	2,0	24,4	4,7	2,2
31	Piraju	SP	0,0	81,0	1,5	0,1	0,9	18,6	2,3	0,8
32	Jaú	SP	0,0	96,0	1,9	0,4	8,1	6,8	26,7	2,3
33	Salto Grande	SP	0,0	99,5	20,8	0,1	4,7	6,6	8,5	1,9
34	Ourinhos	SP	0,0	68,6	23,9	0,3	10,5	17,2	75,0	4,3
35	Canitar	SP	0,0	84,5	12,8	0,2	10,6	16,2	58,3	2,6
36	Riolândia	SP	0,0	68,8	3,0	0,2	13,6	20,2	56,7	5,2
37	Jesuítas	PR	0,0	92,3	30,0	0,5	32,6	21,8	141,7	32,6
38	São Manuel	SP	0,0	74,0	3,6	0,1	1,0	19,4	12,0	2,0
39	Botucatu	SP	45,7	15,1	21,0	0,2	12,8	19,2	61,7	0,9

Tabela 2- Características químicas das amostras de solo utilizadas no experimento *continuação*

Nº	CIDADE	ESTADO	K na CTC	Ca na CTC	Mg na CTC	Al na CTC	H na CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	COT
%											
1	Ibirubá	RS	3,0	21,2	8,0	14,8	52,9	2,6	7,1	2,7	18,4
2	Garibaldi	RS	3,9	83,2	9,4	0,0	3,4	8,9	21,1	2,4	29,0
3	Ganguçu	RS	1,5	42,6	18,9	0,0	37,0	2,3	27,7	12,3	9,4
4	São Vicente do Sul/Mata	RS	1,2	70,8	11,7	0,0	16,4	6,1	59,3	9,8	6,6
5	São Pedro do Sul	RS	0,7	9,0	4,2	31,5	54,6	2,2	12,9	6,0	6,0
6	Santiago	RS	1,9	23,0	5,9	18,5	50,7	3,9	11,8	3,0	17,2
7	Bossoroca	RS	1,7	12,5	5,8	21,9	58,2	2,2	7,4	3,4	14,5
8	São Luiz Gonzaga	RS	1,3	73,0	18,4	0,0	7,3	4,0	54,8	13,8	8,2
9	São Luiz Gonzaga	RS	2,0	60,9	25,5	0,0	11,6	2,4	31,0	13,0	8,1
10	Arapoti	PR									
11	Castro	PR									
12	Carambeí	PR									
13	Tibagi	PR									
14	Ponta Grossa	PR									
15	Ponta Grossa	PR									
16	Castro	PR									
17	Castro	PR									
18	Rinópolis	SP									
19	Rinópolis	SP									
20	Marechal Candido Rondon	PR									
21	São Manuel	SP	2,2	52,9	39,1	0,0	5,9	1,4	24,1	17,8	6,1
22	São Manuel	SP	2,5	46,5	23,7	0,0	27,4	2,0	18,5	9,4	6,0
23	São Manuel	SP	6,4	29,3	9,1	31,9	23,4	3,2	4,6	1,4	2,4
24	Lençóis Paulista	SP	1,0	61,1	24,1	0,0	13,8	2,5	64,1	25,3	10,8
25	Aral Moreira	MS	1,9	59,6	10,9	0,0	27,6	5,5	31,2	5,7	17,0
26	Paranapanema	SP	6,4	42,9	14,7	2,4	33,6	2,9	6,7	2,3	11,1
27	Paranapanema	SP	3,7	45,1	21,1	0,0	30,1	2,1	12,1	5,7	19,8
28	Paranapanema	SP	1,6	59,8	18,5	0,0	20,1	3,2	38,5	11,9	12,1
29	Taquarituba	SP	3,7	51,7	24,5	0,0	20,1	2,1	14,1	6,7	23,6
30	Itaí	SP	0,9	76,9	13,3	0,0	8,9	5,8	82,1	14,2	27,8
31	Piraju	SP	1,3	44,2	35,5	0,0	19,0	1,2	33,4	26,8	6,9
32	Jaú	SP	2,5	70,3	23,2	0,0	4,0	3,0	27,7	9,1	21,2
33	Salto Grande	SP	0,3	67,4	31,7	0,0	0,5	2,1	196,8	92,5	11,0
34	Ourinhos	SP	4,7	42,7	21,2	0,0	31,4	2,0	9,2	4,6	17,2
35	Canitar	SP	4,8	62,0	17,7	0,0	15,5	3,5	12,9	3,7	14,4
36	Riolândia	SP	4,4	47,9	16,5	0,0	31,2	2,9	10,9	3,7	19,1
37	Jesuítas	PR	3,3	78,0	11,0	0,0	7,7	7,1	23,8	3,4	22,1
38	São Manuel	SP	1,8	45,4	26,8	0,0	26,0	1,7	25,8	15,2	5,3
39	Botucatu	SP	1,5	8,0	5,6	12,7	72,1	1,4	5,4	3,8	11,4

Tabela 3- Características granulométricas das amostras de solo utilizadas no experimento

Nº	CIDADE	ESTADO	Areia total	Argila	Silte	Textura
1	Ibirubá	RS	209	579	212	Argiloso
2	Garibaldi	RS	82	414	504	Siltoso
3	Ganguçu	RS	657	145	198	Média
4	São Vicente Do Sul/Mata	RS	719	94	187	Arenoso
5	São Pedro Do Sul	RS	442	336	222	Média
6	Santiago	RS	171	454	375	Argiloso
7	Bossoroca	RS	77	603	320	Argiloso
8	São Luiz Gonzaga	RS	411	266	323	Média
9	São Luiz Gonzaga	RS	286	418	296	Argiloso
10	Arapoti	PR	872	79	49	Arenoso
11	Castro	PR	527	263	211	Média
12	Carambeí	PR	768	143	90	Média
13	Tibagi	PR	598	125	276	Média
14	Ponta Grossa	PR	225	297	480	Média
15	Ponta Grossa	PR	761	150	89	Média
16	Castro	PR	105	373	523	Siltoso
17	Castro	PR	895	47	56	Arenoso
18	Rinópolis	SP	226	372	403	Argiloso
19	Rinópolis	SP	862	64	73	Arenoso
20	Marechal Candido Rondon	PR	106	518	376	Argiloso
21	São Manuel	SP	825	118	56	Arenoso
22	São Manuel	SP	882	77	41	Arenoso
23	São Manuel	SP	862	117	21	Arenoso
24	Lençóis Paulista	SP	832	143	25	Arenoso
25	Aral Moreira	MS	346	531	123	Argilosa
26	Paranapanema	SP	75	404	521	Siltosa
27	Paranapanema	SP	138	448	414	Argilosa
28	Paranapanema	SP	177	597	227	Argilosa
29	Taquarituba	SP	148	603	249	Muito Argilosa
30	Itaí	SP	288	422	290	Argilosa
31	Piraju	SP	855	89	56	Arenosa
32	Jaú	SP	248	401	350	Argilosa
33	Salto Grande	SP	348	308	344	Média
34	Ourinhos	SP	274	523	203	Argilosa
35	Canitar	SP	76	499	426	Argilosa
36	Riolândia	SP	288	530	183	Argilosa
37	Jesuítas	PR	192	461	347	Argilosa
38	São Manuel	SP	386	69	544	Siltosa
39	Botucatu	SP	254	555	190	Argilosa

A quantificação dos herbicidas foi realizada em um sistema LC-MS/MS descrito por Gomes (2011), composto por um Cromatógrafo Líquido de Alta Performance (HPLC), Shimadzu, modelo Prominence UFLC. Equipado com duas bombas LC-20AD, injetor automático SIL-20AC, degazeificador DGU-20A5, com sistema controlador CBM-20A e forno CTO-20AC.

O HPLC foi acoplado ao espectrômetro de massas 3200 Q TRAP (Applied Biosystems), híbrido triplo quadruplo, que apresenta alta sensibilidade e reprodutibilidade, com baixo ruído e medição simultânea de vários compostos, bem como, mantém uma relação constante entre a intensidade do sinal (área do pico cromatográfico) e a concentração dos diferentes compostos expressa em unidades molares. Constituído por coluna de Synergi 2.5 μ Hydro-RP 100Å, dimensões 50 x 4,6 mm e o volume de injeção foi de 20 μ L (Figura 1H). As condições cromatográficas utilizadas para a quantificação dos herbicidas estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4- Condições cromatográficas utilizadas para a quantificação dos compostos

Fase		Fase (A) Água com 0,1% ácido fórmico Fase (B) Metanol com 0,1% ácido fórmico
Gradiente (min)	0-1	10% Fase (B)
	1-3	95% Fase (B)
	3-6	95% Fase (B)
	6-8	10% Fase (B)
	8-10	10% Fase (B)
Fluxo		0,6 mL min ⁻¹

A massa molecular e os fragmentos de cada molécula estão apresentados na tabela 5. A detecção dos herbicidas está representada pelas áreas de picos dos cromatogramas, onde verificou-se uma boa resposta do detector. O tempo de retenção na coluna cromatográfica para os diferentes herbicidas, foi: 2,4-D (4,48 min), picloram (3,84), triclopyr (4,57 min) e, aminopyralid (2,66 min).

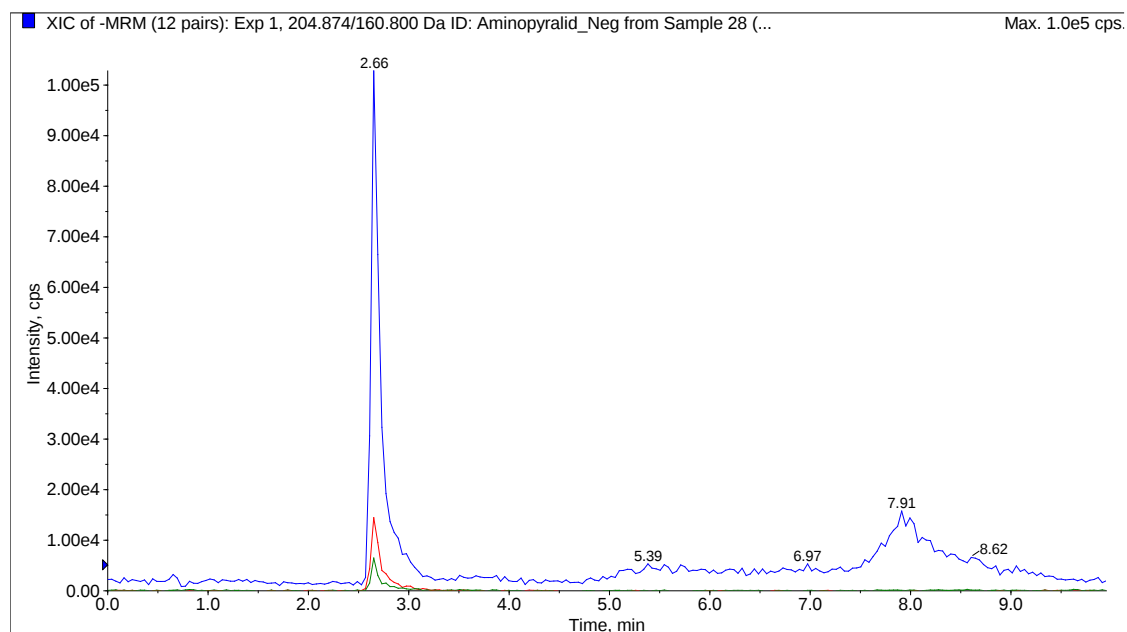
Tabela 5- Massa molecular e fragmentos do herbicida e metabólitos analisados

Composto	Massa molecular	Íon secundários (Fragmentos)
Picloram	239	195,0
		122,9
		158,7
Triclopyr	256	197,7
		219,9
		217,6
Aminopyralid	205	160,8
		124,9
		89,0
2,4-D	219	160,9
		124,9
		89,0

Os cromatogramas dos padrões analíticos dos herbicidas em teste na concentração de 25 ng mL⁻¹ foram demonstrados na figura 2 e 3. Os modelos de regressão linear utilizados mostraram bons ajustes para as concentrações dos herbicidas na solução do solo, as linhas de tendência foram apresentadas quando o coeficiente de correlação (R²) observado foi superior a 0,98.

Figura 2- Cromatogramas do aminopyralid (A) e 2,4-D (B) com os respectivos fragmentos na concentração de 25 ng mL⁻¹

(A)



(B)

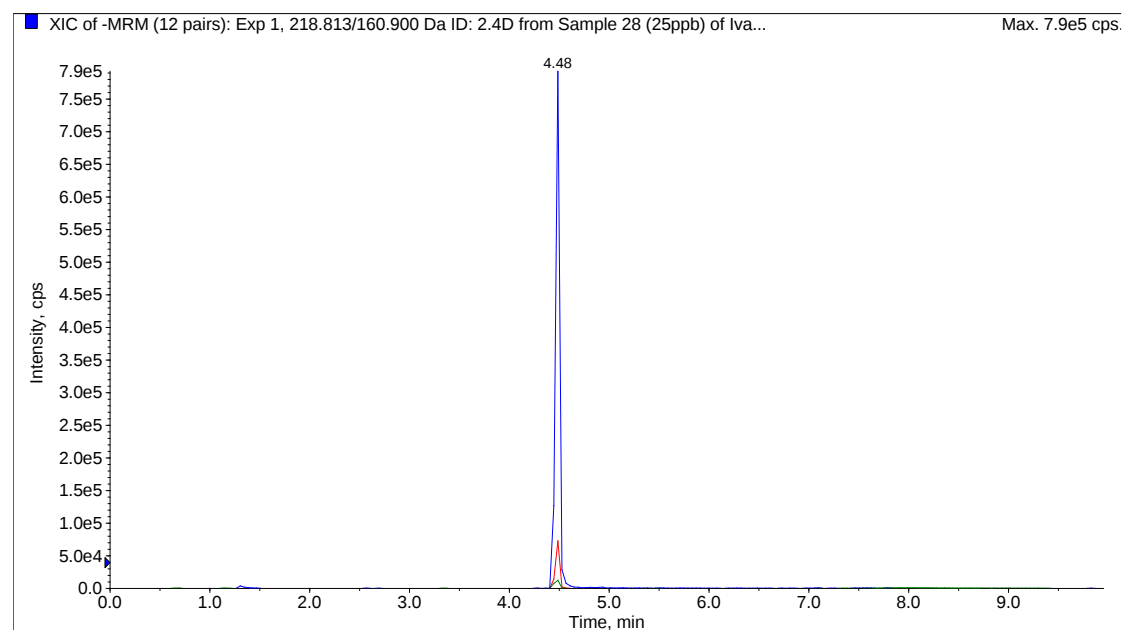
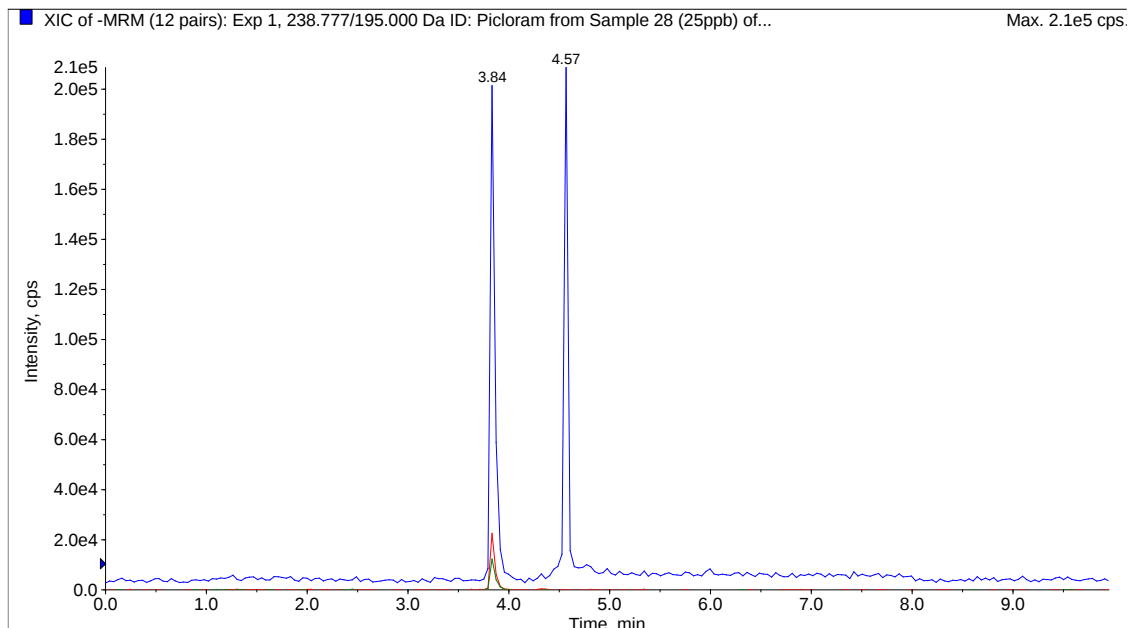
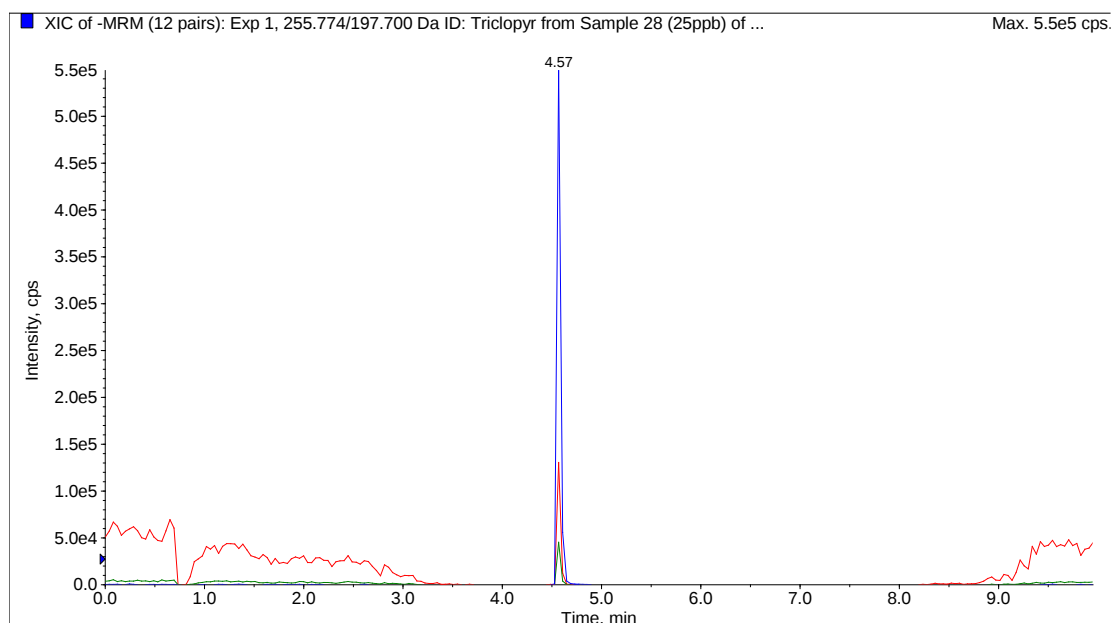


Figura 3- Cromatogramas do picloram (A) e triclopyr (B) com os respectivos fragmentos na concentração de 25 ng mL⁻¹

(A)



(B)



O modelo linear utilizado nas equações das curvas analíticas obtidas para os herbicidas foi ajustado através do modelo linear $y = ax + b$ com um coeficiente de correlação de 0,99 para descrever o relacionamento entre a resposta do detector (y) e a

concentração (x) do herbicida (Tabela 6). Onde, b é a intersecção da curva analítica e a é a inclinação da reta. As curvas analíticas e as faixas de concentração para cada herbicida analisado estão representadas na tabela 6. Para a quantificação do composto, é necessário monitorar diferentes íons moleculares e transições iônicas provenientes da fragmentação dos analitos, garantindo a sensibilidade e a especificidade necessária para a quantificação (Queiroga, 2014).

Tabela 6- Curvas analíticas do herbicida e seus respectivos coeficientes de determinação

Composto	Parâmetros das curvas analíticas				Intervalo linear (ng mL ⁻¹)
	a	b	R	R ²	
Aminopyralid	2,82E+4	-4,01E+3	0,9900	0,9801	0,3906 à 100
Picloram	2,73E+4	1,70E+3	0,9993	0,9986	0,78125 à 100
Triclopyr	5,37E+4	3,83E+3	0,9979	0,9958	0,0976 à 100
2,4-D	9,85E+4	5,10E+4	0,9982	0,9964	0,1953 à 100

Através da soma da massa de cada um dos herbicidas na solução foi possível determinar o total de cada herbicida e, assim, calcular a porcentagem de disponibilidade para os diferentes solos. Os procedimentos para determinar a disponibilidade dos herbicidas na solução do solo estão descritas nas equações 1 a 5.

$$C_s = (C_i - C_e) * \left(\frac{V}{m}\right) \quad \text{Equação 1}$$

$$K_d = \frac{C_s}{C_e} \quad \text{Equação 2}$$

$$K_{oc} = \frac{K_d * 100}{\%C_{org}} \quad \text{Equação 3}$$

$$Ads (\%) = 100 * \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \quad \text{Equação 4}$$

$$Disponibilidade (\%) = 100 - Ads \quad \text{Equação 5}$$

Onde, C_s : quantidade de herbicida sorvido no solo ($\mu\text{g kg}^{-1}$) C_i : quantidade de solução padrão inicialmente adicionada ao solo ($\mu\text{g L}^{-1}$), C_e : quantidade encontrada na solução de equilíbrio ($\mu\text{g L}^{-1}$), V : quantidade da solução padrão adicionada ao solo (mL),

m : quantidade de solo (Kg), K_d : coeficiente de sorção, K_{oc} : coeficiente de sorção normalizado para o teor de carbono orgânico, C_{org} : teor de carbono orgânico, Ads : adsorção (%).

Os coeficientes de sorção e disponibilidade dos herbicidas foram apresentados com os respectivos erros padrão, bem como demonstrados na forma de gráficos de correlação para comparação entre os herbicidas com os ajustes ao modelo linear, considerando o ponto de interseção igual a 0.

Além disso, a disponibilidade dos herbicidas foi correlacionada com as características físico-químicas dos solos testados através da correlação de Pearson e ajustados ao modelo linear, utilizando-se o programa estatístico SigmaPlot 12.5

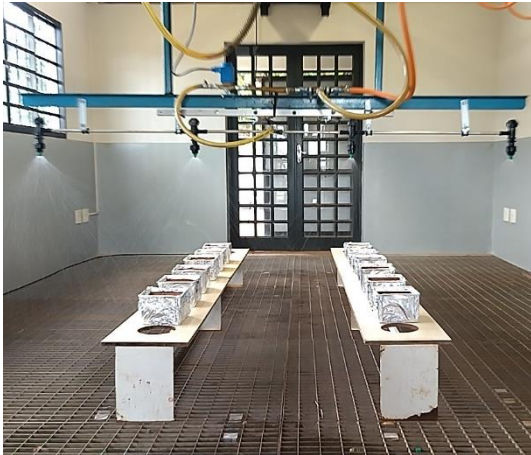
3.3 Experimento III- Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D em pré-emergência de plantas daninhas

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Botucatu-SP durante os anos de 2022 à 2023.

As parcelas foram submetidas a aplicações de herbicidas em condições de pré-emergência (Figura 4). As curvas de dose resposta foram repetidas duas vezes em delineamento inteiramente casualizado com cinco (4) repetições e oito (8) doses de dicamba (Xtendicam®) e 2,4-D (DMA® 860 BR), sendo elas, 0; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 e 8000 g e a ha⁻¹.

Figura 4- Simulador de aplicação (A) e vasos após aplicação dos herbicidas dicamba e 2,4-D em pré-emergência de plantas daninhas

(A)



(B)



Fonte: Ivana Santos Moisinho (2022)

As unidades experimentais foram constituídas com as mesmas espécies utilizadas no experimento I, em vasos de 2L preenchidos com solo de textura média (Tabela 7). Foram adicionados 1; 0,5; 0,6; 0,3; 1,5; e 5 g de sementes de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* respectivamente. As sementes foram homogeneizadas nos primeiros 4 cm da camada de solo e, os vasos foram protegidos externamente com papel alumínio antes da aplicação dos herbicidas.

Os tratamentos foram aplicados em simulador de pulverização com controle da velocidade e pressão de trabalho, constituído por uma barra de pulverização com 2 metros de largura, com 4 pontas Teejet TTI 110.015 espaçadas em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, com volume de calda de 150 L ha⁻¹ e pressão constante de 2 bar, pressurizado por ar comprimido.

Tabela 7- Análise química do solo utilizado para as curvas de dose resposta de herbicidas auxínicos em pré-emergência de plantas daninhas

Características	2,4-D- 1ª Época	Demais ensaios
M.O. (g/dm ³)	9,1	3,9
pH	4,1	4,3
P (mg/dm ³)	0,5	0,5
K (mmolc/dm ³)	0,2	0,1
Ca	3,7	0,5
Mg	0,6	0,3
Al ³	8,8	3,1
H	48,3	20,2
m%	66,0	78,2
H + Al ³ (mmolc/dm ³)	57,0	23,3
S.B.	4,5	0,9
C.T.C.	61,5	24,2
V%	7,3	3,6
S (mg/dm ³)	7,3	5,1
*B (mg/dm ³)	0,1	0,0
Cu (mg/dm ³)	0,6	0,2
Fe	21,5	5,0
Mn	0,5	0,1
Zn	0,2	0,1
Ca/CTC	5,9	2,1
Mg/CTC	1,0	1,1
K/CTC	0,4	0,4
H+Al/CTC	92,7	96,4
Ca/Mg	5,7	1,9
Ca/K	15,8	4,6
Mg/K	2,8	2,4

O número de plântulas emergidas foi contabilizado aos 7, 14 e 21 dias após aplicação (DAA) e aos 21 DAA a parte aérea das plantas foram coletadas e secas em estufa com circulação forçada de ar. Os dados obtidos foram analisados em porcentagem em relação à testemunha.

Os dados foram ajustados ao modelo log-logístico de 3 e 4 parâmetros (Knezevic; Streibig; Ritz 2007) e os casos onde se observou comportamento hormético foram ajustados os modelos de Brain and Cousens de 4 e 5 parâmetros (Brain; Cousens, 1988) em função das concentrações dos herbicidas com os respectivos intervalos de confiança, utilizando-se o pacote estatístico *drc* no ambiente R.

$$Y = 0 + \frac{d - 0}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))}$$

Log-logístico de 3 parâmetros (LL.3)
Equação 6

$$Y = c + \frac{d - c}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))}$$

Log-logístico de 4 parâmetros (LL.4)
Equação 7

$$Y = 0 + \frac{d - 0 + fx}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))}$$

Modelo de hormesis 4 parâmetros (BC.4)
Equação 8

$$Y = c + \frac{d - c + fx}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))}$$

Modelo de hormesis 5 parâmetros (BC.5)
Equação 9

Onde, Y: número de plântulas ou biomassa em relação a testemunha (%), b inclinação da curva, c = assíntota horizontal inferior, d = assíntota horizontal superior, e = dose que promove redução de 50% na variável avaliada (Equação 6 e 7) ou logaritmo do ponto de inflexão (Equação 8 e 9) e f = tamanho do efeito hormesis. Foram também geradas as doses na qual promovem redução de 80% na variável avaliada, expressa pelo parâmetro ED_{80} .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I- Efeito dos herbicidas 2,4-D e dicamba na germinação de sementes de plantas daninhas

U. decumbens apresentou estímulo a germinação com o aumento das concentrações de dicamba. Já 2,4-D apresentou redução na germinação em 14% na concentração de 10ppm (Tabela 8).

O 2,4-D suprimiu a germinação de *D. insularis* em mais de 38% quando presente em concentração superior a 5 ppm. No entanto, dicamba promoveu aumento na germinação até a concentração de 5 ppm, e, ainda superior em relação ao 2,4-D nesta mesma concentração (Tabela 8).

Tabela 8- Germinação (%) de *U. decumbens* e *D. insularis* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 7 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	U. decumbens			
0	100,0	aA	100,0	cA
0,5	95,1	aA	107,6	bcA
1	93,0	aB	121,9	abA
5	97,8	aB	127,4	abA
10	86,0	aB	132,2	abA
D. insularis				
0	100,0	aA	100,0	cdA
0,5	105,9	aB	162,1	abA
1	107,9	aA	137,9	bcA
5	62,8	abB	193,1	abA
10	41,2	bA	69,0	dA

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

E. indica, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* não apresentaram interação significativa entre as concentrações e os herbicidas na germinação aos 7 DAS (Tabela 9). *E. indica* apresentou supressão da germinação a partir de 5 ppm e as demais espécies não apresentaram diferença significativa na germinação entre as concentrações

testadas. Em geral, o 2,4-D promoveu maior inibição da germinação de sementes de *A. hybridus* e *D. aegyptius*, enquanto o dicamba teve efeito inibidor na espécie de *I. grandifolia*. Apesar da germinação observada ao longo das concentrações não ter sido significativa em *A. hybridus* devido a alta variação (CV= 64,8% e DMS=125,4), houve cerca de mais de 50% em comparação a testemunha, dependendo da dose testada (Tabela 9 e Apêndice A).

Tabela 9- Germinação (%) de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 7 DAS

Concentração (ppm)	<i>U. decumbens</i>	<i>D. insularis</i>	<i>E. indica</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>I. grandifolia</i>	<i>D. aegyptius</i>
0,0	0,0	0,0	100,0 ab	100,0 a	100,0 a	100,0 a
0,5	0,0	0,0	113,0 a	115,7 a	102,4 a	105,4 a
1,0	0,0	0,0	92,7 ab	167,4 a	105,1 a	112,3 a
5,0	0,0	0,0	76,4 b	153,4 a	97,1 a	99,8 a
10,0	0,0	0,0	43,5 c	147,9 a	105,1 a	97,5 a
2,4-D	0,0	0,0	78,7 A	93,5 B	120,4 A	94,2 B
Dicamba	0,0	0,0	91,5 A	180,3 A	83,5 B	111,7 A

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se a comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

Tabela 10- Plântulas deformadas (%) de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 7 DAS

Concentração (ppm)	<i>U. decumbens</i>	<i>D. insularis</i>	<i>E. indica</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>I. grandifolia</i>	<i>D. aegyptius</i>
0,0	0,0 a	0,0	0,0	0,0	0,0 a	0,0 a
0,5	1,0 a	0,0	0,0	0,0	0,0 a	0,0 a
1,0	0,6 a	0,0	0,0	0,0	0,8 a	1,9 a
5,0	0,5 a	0,0	0,0	0,0	0,0 a	2,1 a
10,0	0,6 a	0,0	0,0	0,0	0,0 a	2,6 a
2,4-D	0,5 A	0,0	0,0	0,0	0,0 A	2,5 A
Dicamba	0,6 A	0,0	0,0	0,0	0,3 A	0,2 B

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se a comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

Em geral, a espécie *D. aegyptius* apresentou maior porcentagem de plântulas deformadas e, maior sensibilidade ao 2,4-D (Tabela 10). Reiterando que, considerou-se deformadas aquelas plântulas nas quais houve emissão de duas partes aéreas ou raízes, ou ainda, morte de plântulas.

Uma vez que, a epinastia é uma característica dos herbicidas auxínicos em situações de concentração exacerbada. Na maioria os casos, em *U. decumbens* foi observada emissão de duas partes aéreas, o que pode ter sido em decorrência do embrião apomítico (Carneiro *et al.* 2023; Cruz; Federizzi; Milach, 1998), já *I. grandifolia* e *D. aegyptius* a porcentagem de plântulas deformadas foi em decorrência da morte de plântulas.

D. insularis, *E. indica* e, *I. grandifolia* apresentaram supressão no crescimento de parte área em mais de 50% nas concentrações acima de 5 ppm de 2,4-D. Sendo que, *D. insularis* e *E. indica* apresentaram maior supressão, quando comparado ao dicamba, em concentrações superiores a 5 e 0,5 ppm de 2,4-D, respectivamente. Por fim, *D. aegyptius* apresentou cerca de 30% de supressão no crescimento de parte aérea a partir de 1 ppm de 2,4-D (Tabela 11).

Tabela 11- Comprimento de parte aérea (%) de *D. insularis*, *E. indica*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 7 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	<i>D. insularis</i>			
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	101,1	aA	92,9	aA
1	94,0	aA	90,3	aA
5	48,7	bB	91,1	aA
10	38,3	bB	77,7	aA
<i>E. indica</i>				
0	100,0	aA	100,0	bcA
0,5	93,1	aB	150,5	aA
1	70,8	aB	137,2	abA
5	31,3	bB	133,4	abA
10	25,5	bB	93,5	cA
<i>I. grandifolia</i>				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	118,8	aA	86,9	aB
1	115,7	aA	89,7	aB
5	45,1	bA	61,8	bA
10	42,4	bA	48,0	bA
<i>D. aegyptius</i>				
0	100,0	aA	100,0	abA
0,5	94,3	aA	85,4	cA
1	70,3	bB	90,2	bcA
5	52,4	cB	105,8	abA
10	52,7	cA	54,5	dA

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

Concentrações superiores a 0,5 e 5 ppm suprimiu em mais de 10% o crescimento de parte aérea de *U. decumbens* e *A. hybridus*, sendo que, ambas as espécies apresentaram maior suscetibilidade ao dicamba (Tabela 12).

Tabela 12- Comprimento de parte aérea (%) de *U. decumbens* e *A. hybridus* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 7 DAS

Concentração (ppm)	<i>U. decumbens</i>	<i>A. hybridus</i>
0,0	100,0 a	100,0 a
0,5	90,7 b	96,3 a
1,0	88,8 b	95,7 a
5,0	63,2 c	75,7 b
10,0	52,9 d	74,8 b
2,4-D	81,9 A	94,1 A
Dicamba	76,3 B	82,9 B

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se a comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

Todas as espécies apresentaram significativa supressão no comprimento de raízes (Tabela 13). Concentrações acima de 0,5 ppm de ambos os herbicidas ocasionaram supressão superior a cerca de 30%, exceto, em *E. indica* e *D. aegyptius*, na presença de dicamba. Sendo que, *A. hybridus* e *D. aegyptius* apresentaram maior sensibilidade ao 2,4-D.

Tabela 13- Comprimento de raízes (%) de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 7 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	U. decumbens			
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	51,3	bA	36,2	bB
1	23,2	cA	23,3	cA
5	8,6	dA	3,4	dA
10	3,3	dA	3,0	dA
D. insularis				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	8,6	bB	33,4	bA
1	12,7	bA	20,6	cA
5	0,0	cA	4,2	dA
10	0,0	cA	1,9	dA
E. indica				
0	100,0	aA	100,0	bA
0,5	21,7	bB	187,0	aA
1	30,4	bA	64,8	bcA
5	1,8	bA	14,9	cA
10	10,8	bA	7,9	cA
A. hybridus				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	21,1	bB	73,8	bA
1	18,3	bB	69,4	bA
5	17,4	bB	38,4	cA
10	13,5	bB	37,8	cA
I. grandifolia				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	37,2	bB	47,4	bA
1	30,4	bB	48,5	bA
5	21,2	cA	19,5	cA
10	21,9	cA	15,3	cA
D. aegyptius				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	60,4	bB	103,4	aA
1	44,0	cB	81,6	bA
5	21,9	dB	38,7	cA
10	23,4	dA	26,2	cA

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

U. decumbens e *A. hybridus* apresentaram estímulo de cerca de 24% e 60% na germinação aos 14 DAS em concentrações superiores a 5 e 10 ppm de dicamba, respectivamente (Tabela 14). No entanto, *D. insularis* e *E. indica*, apresentaram redução de cerca de 40 e 35% na germinação em concentrações superiores a 5 e 10 ppm (Tabela 15).

Tabela 14- Germinação (%) de *U. decumbens* e *A. hybridus* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	U. decumbens			
0	100,0	aA	100,0	bA
0,5	102,6	aA	99,4	bA
1	97,4	aB	116,6	abA
5	100,0	aB	123,9	aA
10	84,8	aB	122,7	aA
A. hybridus				
0	100,0	aA	100,0	bcA
0,5	96,6	aA	87,0	cA
1	92,4	aB	138,4	abA
5	93,6	aA	126,1	abcA
10	77,7	aB	157,2	aA

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 15- Germinação (%) de *D. insularis*, *E. indica*, *I. grandifolia*, *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	<i>D. insularis</i>		<i>E. indica</i>		<i>I. grandifolia</i>		<i>D. aegyptius</i>	
0,0	100,0	a	100,0	a	100,0	a	100,0	a
0,5	89,7	a	112,3	a	93,9	a	109,2	a
1,0	88,6	a	102,2	a	115,0	a	114,6	a
5,0	59,5	b	98,4	a	100,5	a	113,1	a
10,0	42,1	b	65,6	b	94,0	a	109,5	a
2,4-D	72,2	A	100,0	A	110,4	A	105,0	A
Dicamba	79,8	A	91,4	A	91,0	A	113,5	A

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se a comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

A. hybridus teve maiores porcentagens de plântulas deformadas na concentração de 10 ppm de 2,4-D (Tabela 16). Em decorrência da sensibilidade da espécie ao 2,4-D houve morte das plântulas o que contribui para aumento na variável analisada.

Tabela 16- Plântulas deformadas (%) de *A. hybridus* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	<i>A. hybridus</i>			
0	3,4	bA	0,0	aA
0,5	0,0	bA	0,0	aA
1	7,5	bA	1,0	aA
5	6,1	bA	1,1	aA
10	21,8	aA	0,0	aB

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

As concentrações dos herbicidas afetaram variavelmente *I. grandifolia*, entretanto, 10 ppm aumentou em quase 2 vezes a porcentagem de plântulas deformadas, ou, mortas neste caso. Sendo que, a espécie de *D. aegyptius* apresentou em geral maior sensibilidade ao herbicida 2,4-D (Tabela 17).

Não houve diferença estatística entre as concentrações para *U. decumbens*, no entanto, quando analisadas apenas as médias, as concentrações acima de 5 ppm aumentou em mais de 6 vezes a mortalidade de plântulas. Fato este, que pode ter sido em decorrência da alta variabilidade na variável demonstrado pelo CV superior a 256% (Apêndice B).

Tabela 17- Plântulas deformadas (%) de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *I. grandifolia*, *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	<i>U. decumbens</i>	<i>D. insularis</i>	<i>E. indica</i>	<i>I. grandifolia</i>	<i>D. aegyptius</i>
0,0	0,2 a	0,0	0,0 a	26,6 a	23,9 a
0,5	0,7 a	0,0	0,0 a	66,7 a	12,0 a
1,0	0,8 a	0,0	0,0 a	21,5 a	24,3 a
5,0	1,6 a	0,0	0,5 a	38,9 a	2,9 a
10,0	1,2 a	0,0	0,0 a	47,8 a	4,1 a
2,4-D	1,0 A	0,0	0,0 A	42,3 A	24,9 A
Dicamba	0,7 A	0,0	0,2 A	38,2 A	2,0 B

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se à comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

A. hybridus e *D. aegyptius* apresentaram uma supressão no comprimento de parte aérea a partir de 0,5 ppm de 2,4-D em cerca de 10 e 33%, respectivamente. Entre 0,5 e 1 ppm, no entanto, *D. aegyptius* demonstrou-se cerca de 15% mais sensível ao 2,4-D (Tabela 18).

Tabela 18- Comprimento de parte aérea (%) de *A. hybridus* e *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	A. hybridus			
0,0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	90,5	bA	93,6	abA
1,0	84,3	bA	89,4	bA
5,0	83,9	bA	69,8	cB
10,0	73,3	cA	79,3	dA
D. aegyptius				
0,0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	67,5	bB	100,9	aA
1,0	59,2	bcB	75,9	bA
5,0	47,5	cdA	58,2	cA
10,0	42,8	dA	39,1	dA

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

U. decumbens, *D. insularis*, *E. indica* e *I. grandifolia* apresentaram supressão de parte aérea em mais de 40% nas concentrações superiores a 5 ppm. Sendo que, na concentração de 0,5 ppm *I. grandifolia* já apresentou 16% de supressão no comprimento. Em geral o herbicida 2,4-D suprimiu o crescimento de parte aérea de *D. insularis* e *E. indica* (Tabela 19).

Tabela 19- Comprimento de parte aérea (%) de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica* e *I. grandifolia* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	<i>U. decumbens</i>		<i>D. insularis</i>		<i>E. indica</i>		<i>I. grandifolia</i>	
0,0	100,0	a	100,0	a	100,0	a	100,0	a
0,5	90,9	a	90,6	a	95,0	a	83,6	b
1,0	89,6	a	89,4	a	102,0	a	83,4	b
5,0	57,7	b	57,7	b	51,7	b	49,2	c
10,0	52,8	b	50,9	b	54,6	b	44,0	c
2,4-D	77,3	A	66,4	B	68,9	B	72,6	A
Dicamba	79,1	A	89,1	A	92,9	A	72,0	A

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se a comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

Os herbicidas 2,4-D e dicamba suprimiram o crescimento de raízes aos 14 DAS de *A. hybridus* e *I. grandifolia* em concentrações acima de 0,5 ppm (Tabela 20). Nestas espécies, a uma concentração de 0,5 ppm, o 2,4-D resultou em uma redução de cerca de 20% e 30% superior em relação ao dicamba.

E. indica e *D. aegyptius* exibiram uma supressão significativamente maior das raízes em concentrações acima de 0,5 ppm para o 2,4-D e 5 ppm para o dicamba (Tabela 20). Neste caso, a supressão no comprimento promovida pelo 2,4-D foi de 85 e 46% e pelo dicamba em cerca de 95 e 61% em *E. indica* e *D. aegyptius*, respectivamente.

Tabela 20- Comprimento de raízes (%) de *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	2,4-D		Dicamba	
	<i>E. indica</i>			
0	100,0	aA	100,0	abA
0,5	15,2	bB	156,9	abA
1	15,7	bA	50,8	bcA
5	3,9	bA	5,3	cA
10	2,8	bA	4,8	cA
<i>A. hybridus</i>				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	28,8	bB	59,5	bA
1	21,8	bcB	56,0	bA
5	17,2	cB	42,5	cA
10	16,4	cB	40,5	cA
<i>I. grandifolia</i>				
0	100,0	aA	100,0	aA
0,5	27,5	bcB	48,2	bA
1	22,8	bcB	45,9	bA
5	16,7	cdA	17,4	cA
10	14,2	dA	14,8	cA
<i>D. aegyptius</i>				
0	100,0	aA	100,0	abA
0,5	54,2	bB	110,5	aA
1	41,8	bcA	85,5	bA
5	28,8	cdA	38,5	cA
10	23,1	dA	28,0	cA

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na mesma coluna (concentrações) e maiúsculas na linha (herbicidas) não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

Em *U. decumbens* e *D. insularis* a supressão de crescimento de mais de 50% foi observada em concentrações acima de 0,5 ppm (Tabela 21). Enquanto que, em geral o dicamba foi mais supressivo a espécie de *U. decumbens*.

Tabela 21- Comprimento de raízes (%) de *U. decumbens* e *D. insularis* em diferentes concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba aos 14 DAS

Concentração (ppm)	<i>U. decumbens</i>		<i>D. insularis</i>	
0,0	100,0	a	100,0	a
0,5	49,4	b	22,9	b
1,0	24,2	c	7,6	c
5,0	6,6	d	2,2	cd
10,0	3,4	d	0,2	d
2,4-D	38,7	A	24,5	B
Dicamba	34,7	B	28,7	A

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. Letras minúsculas e maiúsculas na coluna referem-se à comparação entre as concentrações e herbicidas, respectivamente.

Neste estudo investigou se o efeito de doses crescentes de herbicidas na germinação e no crescimento de plântulas de espécies mono e dicotiledôneas. Auxinas sintéticas apresentam efeito dependente da dose e sensibilidade do tecido na qual é exposto, e, a espécie (Grossmann, 2010b; Pazmiño; Romero-Puertas; Sandalio, 2012). Foi possível observar efeitos significativos causados pelos herbicidas testados sobre a germinação e o crescimento das plântulas, com variações entre as diferentes espécies, tempos de avaliação e concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba.

Os efeitos dos herbicidas auxínicos na germinação de sementes mostraram-se variáveis conforme a espécie, resultando tanto em estímulo quanto em supressão da germinação ao longo das avaliações. *U. decumbens* e *D. insularis* apresentaram estímulo a germinação aos 7 DAS na presença de dicamba, no entanto, *D. insularis* apresentou supressão em concentrações superiores a 5 ppm de 2,4-D. Enquanto, que *D. aegyptius* também manteve alta germinação ao longos das avaliações, no entanto, com aumento da mortalidade de plântulas. Efeito supressor evidente foi observado nas espécies de *E. indica* em doses superiores a 5 ppm dos herbicidas.

A resposta das espécies a auxina envolvem diferentes mecanismos, como absorção e metabolismo dos herbicidas auxínicos (Chang; Vanden Born, 1971; Hagin; Linscott; Dawson, 1970; Morton; Robinson; Meyer, 1967), alterações na transcrição de genes responsivos a auxinas (Hagen; Guilfoyle, 2002; Hanson; Slife, 1969) e interação

com outros reguladores de crescimento como etileno e ABA (Argueso; Hansen; Kieber, 2007; Grossmann, 2010b; Kraft *et al.*, 2007; Sunohara; Matsumoto, 2004).

Enquanto as auxinas naturais são prontamente inativadas por meio de processos de conjugação e degradação, as auxinas sintéticas, como o 2,4-D, mantêm sua atividade ao longo do tempo, mostrando-se mais eficazes e letais (Ljung *et al.*, 2002).

Além disso, a germinação e dormência de sementes em resposta a auxina envolve mecanismos principalmente regulados pelo ABA (Matthes *et al.* 2019) onde a inibição da germinação de sementes mediada por ABA requer o transporte e sinalização de auxinas. Por outro lado, a superprodução de auxina resulta em hipersensibilidade ao ABA (Robert *et al.* 2018; Swarup *et al.* 2019), o que pode levar a uma potencialização dos efeitos inibitórios do ABA.

A revisão de Matilla, (2020) aborda estudos que demonstram quando os níveis de auxina estão baixos, a transcrição responsiva à auxina é reprimida e a dormência das sementes não pode ser mantida. Em contraste, quando os níveis de auxina são altos, fatores responsivos as auxinas são liberadas e a transcrição resulta na dormência das sementes. Já Shuai *et al.*, (2017) destacou que a auxina exógena aplicada a sementes de soja reduziu a germinação de sementes de soja devido à redução da relação entre giberelina e ácido abscísico (GA/ABA), estimulando a biossíntese de ABA e reprimindo a biossíntese de GA.

Para *U. decumbens* e *D. insularis* a exposição das sementes as auxinas sintéticas podem ter afetado o balanço de GA/ABA passando de um estado dormente ou não, para estímulo a germinação. Enquanto que as demais, apresentaram mais sensíveis ao aumento nos níveis de auxina levando a redução na germinação. Outros sinais endógenos e ambientais também podem estar envolvidos no conteúdo e a distribuição de auxinas, influenciando assim o desenvolvimento das plantas.

A auxina também é reconhecida pelos efeitos contrastantes no desenvolvimento da parte aérea e da raiz, por sua aparente participação na regulação do crescimento e desenvolvimento da maioria das plantas, bem como em respostas de desenvolvimento (Weijers; Wagner, 2016 *apud* Emenecker; Strader, 2020). Além disso, as vias de sinalização do ABA e da auxina interagem na regulação de várias respostas de

crescimento e estresse (Rowe *et al.* 2016 *apud* Emenecker; Strader, 2020) e promovem o crescimento celular na parte aérea, enquanto inibe nas raízes.

O estímulo contínuo do metabolismo vegetal em decorrência das auxinas sintéticas, promove síntese de ácidos nucleicos e proteínas resultando em distorções no crescimento devido à divisão e expansão celular. Essas anomalias podem ser observadas em tecidos adicionais, em momentos e posições inadequados, levando ao inchaço e epinastia. Simultaneamente, observa-se uma transição nas células meristemáticas e cambiais, com o início de divisão e diferenciação celular transitórias. Esses tecidos passam a mobilizar as reservas de carboidratos e proteínas dos tecidos funcionais, enquanto os produtos metabólicos são translocados, resultando em senescência (Van Overbeek, 1964; Cobb, 1992).

Por outro lado, a inibição do crescimento e a morte celular são sugeridas por um mecanismo de ação mais específico, evidenciado pela seletividade das espécies em relação aos herbicidas à base de auxinas, juntamente com sua rápida atividade e, em alguns casos, estereosseletividade, como no caso do enantiômero (+)-D do herbicida diclorprop-P, que demonstra eficácia mesmo em baixas concentrações de aplicação (Grossmann, 2003).

Neste estudo, foram observados nas plântulas menor crescimento de raízes, plantas amarelecidas, intumescimento de raízes, folhas retorcidas e atrofia, como os principais sintomas de 2,4-D e dicamba. Em monocotiledôneas, foi observado anel coronar mais alongado, menor crescimento, folhas estreitas e pontiagudas, intumescimento no colo e, arroxamento, com sintomas mais evidentes aos 14 DAS e à medida que as concentrações eram aumentadas (Figura 5). Em dicotiledôneas, sintomas semelhantes foram observados, tais como, intumescimento próximo a região do colo, redução no comprimento, atrofia e necrose de raízes, menor crescimento e atrofia de parte aérea (Figura 6).

Figura 5- Sintomas em plântulas de espécies monocotiledôneas *U. decumbens* (A, D), *D. insularis* (B, E) e *E. indica* (C, F) em aplicações de dicamba e 2,4-D aos 14 DAS

Herbicida

(A)

(B)

(C)

2,4-D

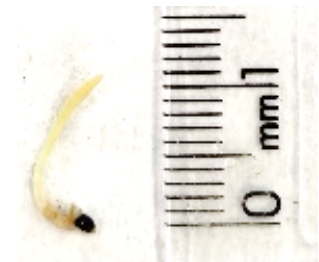
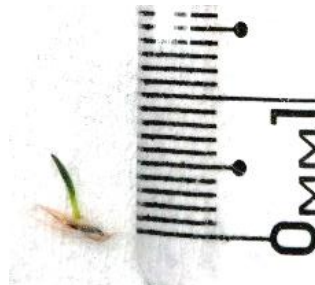


(D)

(E)

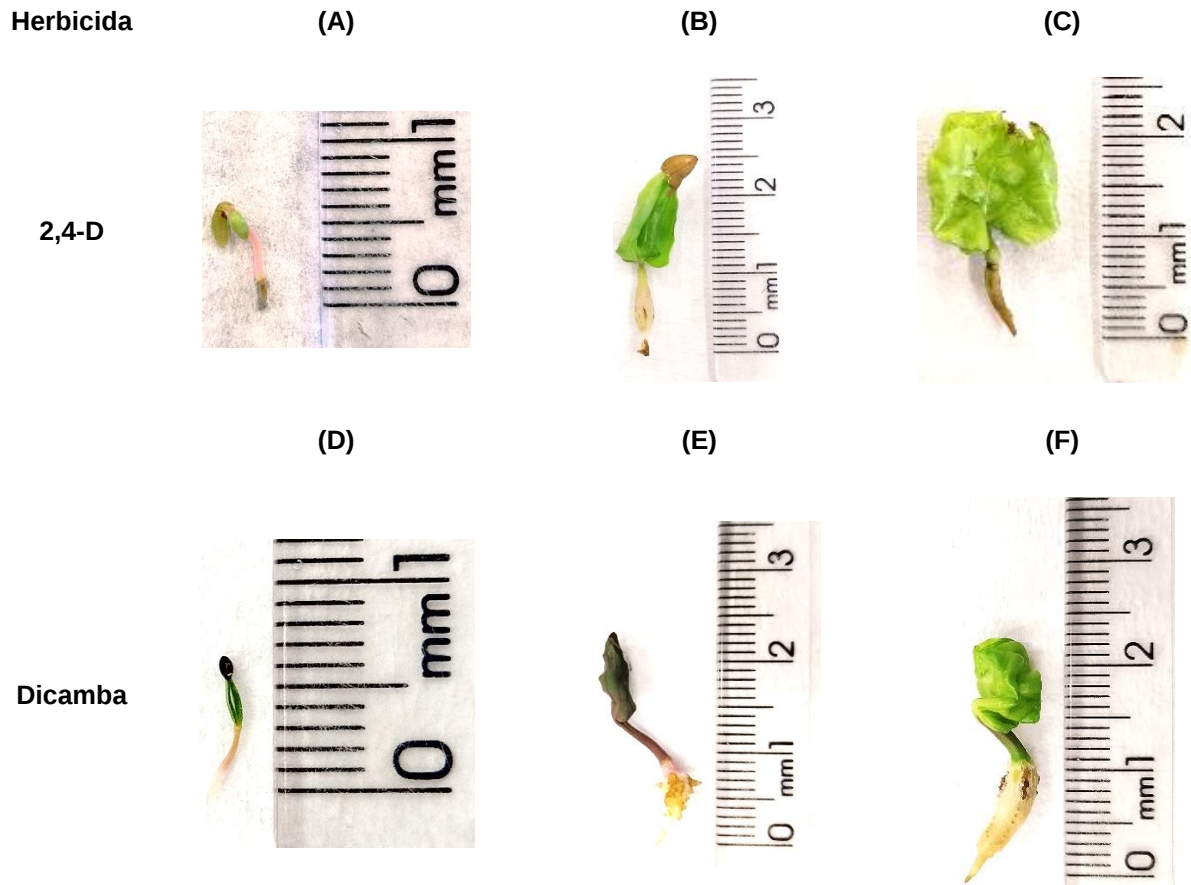
(F)

Dicamba



Fonte: Ivana Santos Moisinho (2022)

Figura 6- Sintomas em plântulas de espécies dicotiledôneas *A. hybridus* (A, D), *I. grandifolia* (B, E) e *D. aegyptius* (C, F) em aplicações de 2,4-D e dicamba aos 14 DAS



Fonte: Ivana Santos Moisinho (2022)

O crescimento das raízes foi mais afetado pelos herbicidas comparados ao crescimento da parte aérea. *U. decumbens*, *D. insularis* e *E. indica* apresentaram crescimento de parte aérea aos 14 DAS, bem como *A. hybridus* e *I. grandifolia*. Considerando 2,4-D, os cloroplastos são os principais destinos desse herbicida. É esperado que ao passar das avaliações haja incremento nas variáveis analisadas, uma vez que, o metabolismo ainda permanece ativo. No entanto, a proporção em que as partes crescem e se desenvolvem é limitada advindo das consequências da concentração excessiva de auxinas sintéticas.

Em baixas concentrações a assimilação de carbono e reações fotoquímicas são estimuladas, e consequente estímulo ao crescimento. Ao contrário, em altas concentrações a sua presença é inibitória (Tresch; Grossmann, 2003), e consequências nas reações de Hill, bloqueio do transporte de elétrons, redução no conteúdo de clorofila e aumento no conteúdo de xantofilas induz a senescência (Grossmann, 2003; Kraft *et al.*, 2007).

Pouco efeito na supressão de parte aérea também foi documentado por Halifax e Scifres (1972) nas espécies gramíneas de *Panicum obtusum*, *Panicum virgatum* e *Bouteloua curtipendula* em uma concentração até 63 ppb e redução no crescimento de raízes a partir de 500 ppb de dicamba. Já Koo, Neal e Ditomaso, (1997) verificou que quinclorac em *Echinochloa crus-galli* e *Digitaria ischaemum* inibiu completamente a alongação de raízes a uma concentração de 10µM.

O alongamento da raiz depende de uma combinação de divisão celular e alongamento celular. Tanto a auxina quanto o ABA desempenham papéis essenciais na regulação do alongamento da raiz. Altos níveis de auxina exógena e ácido abscísico inibem o alongamento da raiz. Especificamente, a interrupção do transporte de auxina (aux1 ou pin2) ou sinalização de auxina (tir1, ibr5, axr1 e mutantes Aux/IAA de ganho de função) resulta em resistência ao ABA no alongamento da raiz primária (Thole *et al.* 2014; Rinaldi *et al.* 2012 *apud* Emenecker; Strader, 2020).

Estudos reiteram que altos níveis de auxinas e ácido abscísico exógena inibem a alongação das raízes (Thole *et al.* 2014 *apud* emenecker; Strader, 2020). A inibição mediada pelo ABA do alongamento da raiz primária requer claramente transporte e sinalização de auxina intactos. Por outro lado, a inibição do alongamento radicular mediada pela auxina não requer sinalização ABA intacta (Li *et al.* 2017 *apud* Emenecker; Strader, 2020).

Os herbicidas 2,4-D e dicamba demonstraram algum efeito estimulante a germinação e fortemente supressor no crescimento de raízes. Durante o processo de germinação, as sementes ativam mecanismos bioquímicos que resultam na emergência da parte aérea da planta. No entanto, o crescimento inicial e posterior desenvolvimento é essencial a presença de um sistema radicular funcional. As raízes desempenham papéis na absorção de água e nutrientes do solo, fornece suporte físico e permite a

interação com microrganismos no solo. Portanto, embora a germinação e o desenvolvimento da parte aérea não tenham sido drasticamente afetados, na ausência de sistema radicular a plântula se torna incapaz de absorver os recursos necessários resultando em uma limitação significativa seu crescimento e metabolismo.

4.2 Experimento II- Sorção e disponibilidade de herbicidas auxínicos em solos com características distintas

Aminopyralid e o 2,4-D foram os herbicidas com maior disponibilidade no solo, enquanto o triclopyr foi mais sorvido e, conseqüentemente, menos disponível (Tabela 22). O picloram apresentou comportamento intermediário, variando consideravelmente dependendo do solo testado.

Comportamento interessante foi observado para o 2,4-D, que mostrou maiores coeficientes de sorção e, ainda assim, maior disponibilidade em comparação ao picloram. Os valores médios do picloram foram de 7,5 e 17,3, enquanto os do 2,4-D foram de 31 e 39, resultando em uma disponibilidade de cerca de 14% e 18%, respectivamente (Tabela 22).

Tabela 22- Sorção de picloram, triclopyr, aminopyralid e 2,4-D em solos com características distintas

Parâmetros*	K_d	K_{oc}	Disponibilidade (%)
	Picloram		
Mínimo	0,44 ± 0,08	0,89 ± 0,08	0,57 ± 0,17
Média	7,53 ± 4,73	17,34 ± 3,36	14,12 ± 1,22
Máximo	61,77 ± 70,03	91,77 ± 34,22	37,60 ± 3,52
	Triclopyr		
	K_d	K_{oc}	Disponibilidade (%)
Mínimo	0,53 ± 0,06	1,21 ± 0,12	0,11 ± 0,06
Média	67,74 ± 93,82	120,25 ± 49,95	8,51 ± 0,78
Máximo	1610,80 ± 1735,42	1809,72 ± 848,05	31,81 ± 2,77
	Aminopyralid		
	K_d	K_{oc}	Disponibilidade (%)
Mínimo	0,29 ± 0,02	0,64 ± 0,03	1,40 ± 0,33
Média	4,73 ± 1,01	7,86 ± 1,01	20,36 ± 1,12
Máximo	37,71 ± 13,79	33,74 ± 7,64	48,16 ± 4,80
	2,4-D		
	K_d	K_{oc}	Disponibilidade (%)
Mínimo	0,19 ± 0,02	0,43 ± 0,06	0,31 ± 0,11
Média	31,06 ± 16,30	38,74 ± 12,00	17,89 ± 1,94
Máximo	445,78 ± 258,42	369,42 ± 126,28	63,47 ± 14,62

*Coeficientes mínimos, médios e máximos de sorção em solos distintos seguidos do erro padrão. K_d : coeficiente de sorção, K_{oc} : coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico.

Os valores médios de sorção do picloram foram relativamente baixos (K_d : 7,5 e K_{oc} : 17,3), indicando uma retenção moderada e variável conforme as características do solo (variação entre 0,6% a 37,6%). A maior retenção de triclopyr é explicada pelos maiores coeficientes de sorção (K_d médio: 67,7 e K_{oc} médio: 120,2). Além disso, a

variação na disponibilidade (0,11% a 31,8%) sugere que, em solos com maior capacidade de sorção, o triclopyr têm menor mobilidade e, portanto, maior efeito residual (Tabela 22). A maior sorção de triclopyr também observada por Wolt (1998), estava particularmente relacionada aos teores de carbono orgânico do solo e o pH.

Em contrapartida, aminopyralid apresentou menor capacidade de sorção com K_d e K_{oc} médios de 4,7 e 7,9, respectivamente, e, maior disponibilidade média (20%). Por fim, 2,4-D apresentou comportamento intermediário de sorção, com valores médios de 31 (K_d) e 39 (K_{oc}), sugerindo que o herbicida estava presente na solução do solo e passível de absorção radicular ou sujeito aos processos de transporte e degradação (Tabela 22).

Os coeficientes de sorção auxiliam na determinação do comportamento de herbicidas, no entanto, são variáveis conforme as características do solo. Autores reportaram variações de K_d para 2,4-D entre 0,19 e 446, e corrobora com a variação encontrada neste estudo (0,2 a 445,8) (Werner; Garratt; Pigott, 2013). Ao comparar os coeficientes obtidos no conjunto dos 39 solos estudados e os dados disponíveis na plataforma PPDB (2024), foram encontrados para 2,4-D um K_d de 0,7, enquanto o K_{oc} para picloram, triclopyr e 2,4-D foram de 13, 27 e 39,3. Em Senseman (2007), picloram e 2,4-D apresentam K_d de 0,5 e 0,7 mL/g, respectivamente. Picloram e triclopyr apresentam K_{oc} entre 16-160 e, 20-718, respectivamente. Segundo NPIC (2025), valores de K_{oc} encontrados para picloram, triclopyr, aminopyralid e 2,4-D foram de 7,2, 93,5, 2,33 e entre 58 e 73, respectivamente. Neste caso, as variações encontradas nos coeficientes de sorção estão entre as encontradas nesse estudo (Tabela 22).

Reduzida sorção e grande variação nos coeficientes de sorção também foi observada por Picton e Farenhorst, (2004), com K_{oc} variando entre 59 e 100, o que pode ser em decorrência da variabilidade no conteúdo de matéria orgânica, pH, argila e qualidade da matéria orgânica dos solos testados.

Afim de facilitar a visualização do comportamento dos herbicidas no solo, optou-se também por demonstrá-los na forma de gráficos de equivalência. Onde, a reta do modelo linear, quando acima ou abaixo da linha de equivalência, indica, respectivamente, maior ou menor disponibilidade em função do herbicida em comparação (Figura 7). Em geral, os herbicidas apresentaram bons ajustes ao modelo linear e correlação acima de 0,75 (Tabela 23).

Tabela 23- Parâmetros do modelo linear ajustados a equivalência da disponibilidade entre os herbicidas auxínicos picloram, triclopyr, aminopyralid e 2,4-D em solução de solo (%)

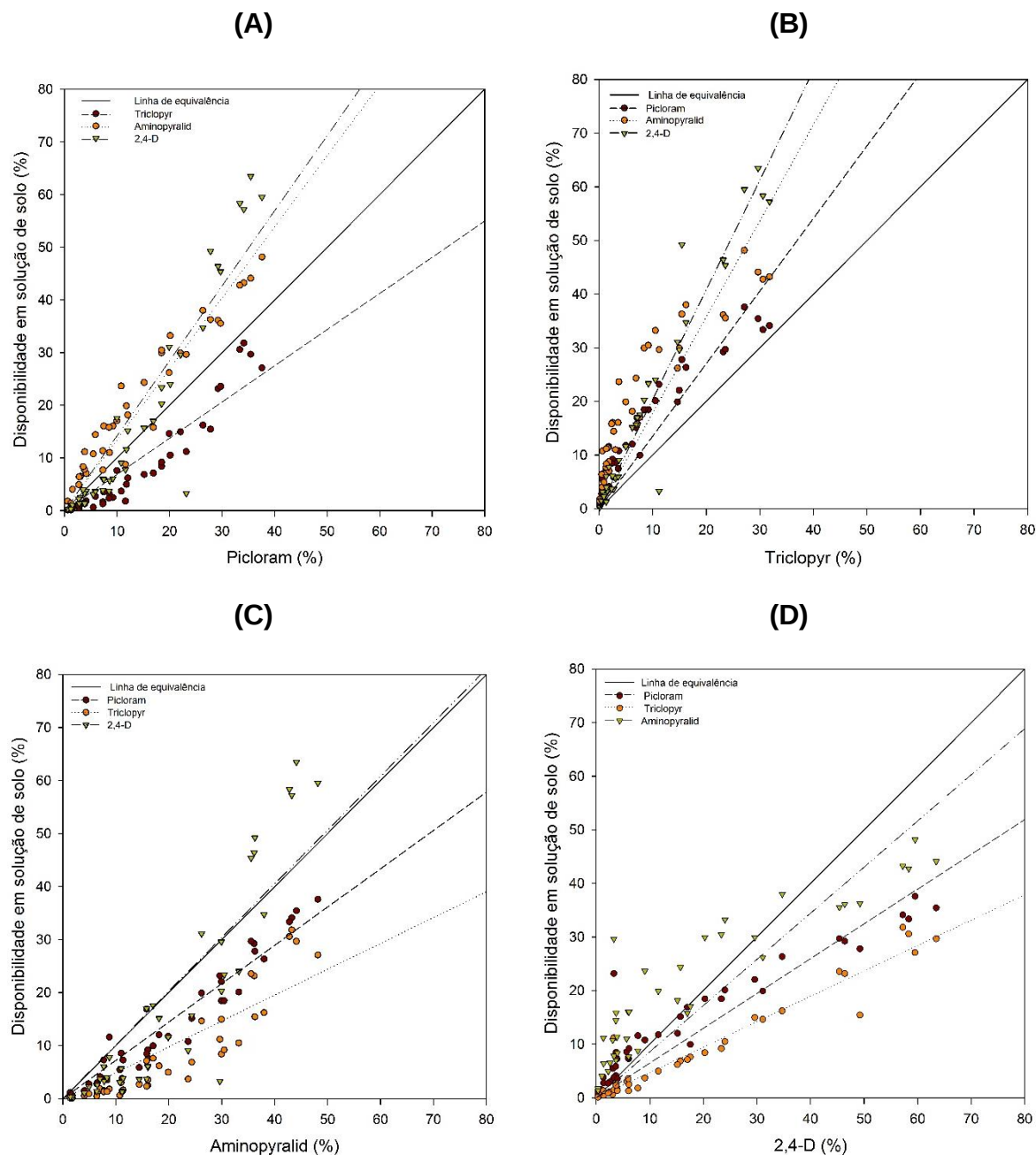
Herbicida	a	R	R ²
Picloram			
Triclopyr	0,687 ± 0,031	0,934	0,872
Aminopyralid	1,347 ± 0,036	0,955	0,912
2,4-D	1,423 ± 0,066	0,927	0,859
Triclopyr			
Picloram	1,352 ± 0,060	0,900	0,810
Aminopyralid	1,789 ± 0,111	0,756	0,572
2,4-D	2,042 ± 0,062	0,968	0,937
Aminopyralid			
Picloram	0,723 ± 0,019	0,964	0,929
Triclopyr	0,488 ± 0,769	0,877	0,769
2,4-D	1,013 ± 0,063	0,874	0,763
2,4-D			
Picloram	0,649 ± 0,030	0,891	0,794
Triclopyr	0,473 ± 0,014	0,969	0,939
Aminopyralid	0,861 ± 0,053	0,756	0,572

*a: inclinação da reta, R: coeficiente de correlação, R²: coeficiente de determinação

O aminopyralid e 2,4-D foram os produtos com maior disponibilidade no solo e concentrações semelhantes no solo, enquanto triclopyr foi o produto que apresentou menores concentrações disponíveis nas soluções dos solos (Figura 7). Entretanto, Fast *et al.*, (2010), encontrou maior capacidade de sorção para o aminopyralid do que para picloram, e ainda variável conforme a fração argilomineral presente, sendo mais sorvido a montmorilonita do que caulinita.

Recomendações baseadas apenas nos coeficientes de sorção podem não ser adequadas, pois há grande variação conforme as características do solo (Tabela 22). No entanto, os coeficientes auxiliam determinação do comportamento esperado de sorção, que, por sua vez, é determinado pelas características do solo. Devido a isto, é importante identificar as características do solo que influenciam o processo de sorção desses herbicidas para recomendações mais precisas.

Figura 7- Comparação entre a disponibilidade dos herbicidas auxínicos picloram (A), triclopyr (B), aminopyralid (C) e 2,4-D (D) em solução de solo (%)



Nesse sentido, a análise de correlação dos herbicidas com as características do solo, demonstrou que a disponibilidade entre herbicidas na solução do solo está intimamente correlacionada. Por serem herbicidas ácidos e com características físico-químicas similares, seu comportamento no ambiente é similar, bem como, quando correlacionado com as características físico-químicas do solo (Tabela 24 e 25).

Tabela 24- Correlação entre a disponibilidade dos herbicidas picloram, triclopyr, aminopyralid e 2,4-D e as características físico-químicas do solo

Parâmetros	Picloram	Triclopyr	Aminopyralid	2,4-D	Área total	Argila	Site	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H	m%	H + Al ³⁺	S.B.	C.T.C.	V%	S	Fe	Mn	Zn	K na CTC	Ca na CTC	Mg na CTC	Al na CTC	H na CTC	Ca/K	Mg/K	COT		
Picloram	1.00																																	
Triclopyr	0.96	1.00																																
Aminopyralid	0.97	0.92	1.00																															
2,4-D	0.95	0.97	0.91	1.00																														
Área total	0.43	0.43	0.40	0.46	1.00																													
Argila	-0.49	-0.49	-0.42	-0.52	-0.88	1.00																												
Site	-0.21	-0.22	-0.25	-0.24	-0.82	0.44	1.00																											
M.O.	-0.41	-0.37	-0.44	-0.37	-0.45	0.30	0.49	1.00																										
pH	0.53	0.47	0.57	0.45	-0.13	-0.02	0.27	0.18	1.00																									
P	-0.01	-0.01	0.02	0.02	-0.44	0.37	0.38	0.29	0.41	1.00																								
K	-0.05	-0.08	-0.04	-0.05	-0.55	0.40	0.54	0.35	0.43	0.79	1.00																							
Ca	0.08	0.02	0.14	0.05	-0.21	0.09	0.29	0.15	0.56	0.38	0.41	1.00																						
Mg	0.12	0.05	0.17	0.08	-0.10	0.02	0.17	0.04	0.48	0.19	0.23	0.96	1.00																					
Al ³⁺	-0.34	-0.29	-0.36	-0.27	-0.01	0.10	-0.10	-0.19	-0.59	-0.24	-0.24	-0.20	-0.16	1.00																				
H	-0.72	-0.64	-0.80	-0.64	-0.45	0.54	0.16	0.11	-0.77	-0.12	-0.04	-0.27	-0.23	0.80	1.00																			
m%	-0.35	-0.31	-0.44	-0.24	-0.07	0.19	-0.11	-0.20	-0.76	-0.27	-0.29	-0.23	-0.18	0.89	0.72	1.00																		
H + Al ³⁺	-0.63	-0.55	-0.66	-0.55	-0.24	0.31	0.08	0.08	-0.72	-0.21	-0.17	-0.28	-0.23	0.87	0.98	0.82	1.00																	
S.B.	0.09	0.03	0.15	0.06	-0.18	0.07	0.26	0.12	0.54	0.33	0.36	1.00	0.98	-0.19	-0.26	-0.22	-0.27	1.00																
C.T.C.	0.03	-0.03	0.09	0.01	-0.21	0.10	0.27	0.13	0.48	0.32	0.35	0.99	0.98	-0.11	-0.17	-0.15	-0.17	1.00	1.00															
V%	0.51	0.45	0.56	0.42	-0.18	0.03	0.31	0.20	0.94	0.47	0.45	0.46	0.36	-0.71	-0.79	-0.91	-0.77	0.43	0.37	1.00														
S	-0.35	-0.31	-0.34	-0.31	-0.40	0.45	0.22	0.18	0.94	0.27	0.70	0.76	0.19	0.03	-0.12	0.12	-0.10	0.08	0.09	0.10	0.09	1.00												
Fe	-0.30	-0.34	-0.29	-0.31	-0.63	0.56	0.51	0.56	0.27	0.70	0.76	0.19	0.03	-0.08	0.26	-0.09	0.04	0.15	0.16	0.31	0.38	1.00												
Mn	-0.17	-0.19	-0.13	-0.18	-0.45	0.48	0.28	0.12	0.88	0.44	0.79	0.76	0.19	0.03	-0.12	0.01	-0.07	0.04	0.15	0.15	0.13	0.54	1.00											
Zn	-0.49	-0.40	-0.55	-0.40	0.06	-0.20	0.22	0.38	-0.44	-0.09	-0.03	-0.16	-0.21	0.20	0.47	0.17	0.39	-0.18	-0.14	-0.42	0.09	-0.08	-0.16	1.00										
K na CTC	-0.22	-0.28	-0.21	-0.26	-0.27	0.53	0.24	0.15	-0.14	0.79	0.47	0.30	-0.03	-0.11	0.12	0.32	0.24	0.19	-0.06	-0.04	-0.11	0.06	0.44	0.77	-0.25									
Ca na CTC	-0.10	-0.11	-0.08	-0.09	-0.23	0.23	0.15	0.18	0.14	0.79	0.92	-0.22	-0.26	-0.17	0.01	-0.05	-0.19	-0.08	0.10	0.09	0.21	0.18	0.50	0.63	-0.05	0.63								
Mg na CTC	0.30	0.22	0.41	0.20	-0.01	-0.14	0.20	0.34	0.86	0.47	0.45	0.41	0.26	-0.70	-0.71	-0.82	-0.74	0.37	0.31	0.94	0.13	0.26	0.26	-0.09	-0.18	0.34	-0.04	1.00						
Al na CTC	0.58	0.58	0.62	0.50	0.40	-0.45	-0.17	-0.26	0.66	-0.05	-0.08	0.27	0.37	-0.55	-0.60	-0.64	-0.61	0.30	0.25	0.65	-0.13	-0.36	-0.28	-0.38	-0.44	-0.13	-0.14	0.37	1.00					
H na CTC	-0.25	-0.23	-0.32	-0.13	0.03	0.08	-0.16	-0.26	-0.73	-0.23	-0.27	-0.23	-0.17	0.84	0.58	0.95	0.71	-0.22	-0.15	-0.83	-0.11	-0.11	-0.13	0.15	0.17	-0.19	-0.01	-0.75	-0.61	1.00				
Ca/K	-0.19	-0.14	-0.07	-0.08	-0.25	0.14	0.29	0.53	0.26	0.56	0.53	0.15	-0.09	-0.17	-0.19	-0.20	-0.19	0.08	0.06	0.33	0.19	0.55	0.49	0.32	0.18	0.50	0.09	0.59	-0.45	-0.16	-0.37	1.00		
Cu/K	0.20	0.13	0.30	0.15	0.14	-0.22	0.02	-0.05	0.66	-0.02	-0.05	0.86	0.87	-0.24	-0.39	-0.31	-0.35	0.87	0.85	0.47	0.00	-0.24	-0.13	-0.24	-0.33	-0.09	-0.52	0.46	0.36	-0.31	-0.50	0.08	1.00	
Mg/K	0.26	0.23	0.34	0.23	0.22	-0.26	-0.04	-0.21	0.50	-0.01	-0.05	0.85	0.93	-0.19	-0.34	-0.24	-0.30	0.88	0.87	0.38	-0.04	-0.34	-0.19	-0.27	-0.34	-0.15	-0.47	0.26	0.54	-0.25	-0.40	-0.22	0.92	1.00
COT	-0.60	-0.55	-0.52	-0.55	-0.66	0.66	0.39	1.00	0.14	0.52	0.61	0.15	-0.01	-0.18	0.11	-0.20	0.01	0.11	0.11	0.19	0.17	0.77	0.49	0.26	0.29	0.41	0.18	0.34	-0.26	-0.13	0.53	-0.05	-0.21	1.00

Os teores de areia e argila foram as características físicas do solo que mais afetaram a disponibilidade dos herbicidas no solo. Solos mais arenosos tendem a reter menos os herbicidas, resultando em maior mobilidade e suscetibilidade aos processos de transporte, como lixiviação. Mesmo com a correlação negativa, aparentemente os teores de silte apresentam pouca influência na disponibilidade dos herbicidas testados (Tabela 24 e 25).

A matéria orgânica, alumínio (Al^3) e a saturação de alumínio ($\text{H} + \text{Al}^3$), e ferro (Fe) foram as propriedades químicas que apresentaram maior correlação com o comportamento dos herbicidas no solo (Tabela 24 e 25). Em geral, o aumento desses teores no solo tende a reduzir a disponibilidade dos herbicidas. Uma vez que, compostos menos solúveis apresentam maior afinidade com a matéria orgânica e tendem a apresentar menor disponibilidade (Carringer; Weber; Monaco, 1975). Devido aos herbicidas auxínicos apresentarem alta solubilidade, a correlação com matéria orgânica é fraca, e, a redução da disponibilidade pode ser decorrente das pontes de hidrogênio entre as moléculas na superfície dos coloides do solo, conforme observado para dicamba (Weber (1972) *apud* Carringer, Weber e Monaco (1975)).

O aumento do pH e saturação de bases (V%) favoreceu a disponibilidade dos herbicidas. O pH está intimamente correlacionado com a saturação de bases (V%) (Castro *et al.*, 1972), e portanto, solos mais ácidos e com menor saturação de bases tendem a reter mais fortemente os herbicidas (Tabela 24 e 25). Por se tratar de herbicidas de caráter ácido e com características de dissociação (pK_a), eles podem ser ionizados conforme o pH do solo. Herbicidas ácidos fracos apresentam estado neutro em uma faixa de pH mais baixo, porém, em pH mais elevado eles podem doar um próton e passar ao seu estado aniônico, sendo facilmente lixiviados devido a menor sorção (Rave; Mendes; Silva 2020).

Tal comportamento em relação ao pH do solo também foi observado em picloram (Assis *et al.*, 2011; Cheng, 1971), triclopyr (Pusino *et al.*, 1994) e, 2,4-D (Spadotto; Matallo; Gomes, 2003). A adsorção de picloram ocorre através da interação com a superfície dos minerais de argila de forma aniônica, sendo sua adsorção favorecida em pH mais baixos. Além do mais, o herbicida se liga aos sítios de adsorção da argila através de seus grupos funcionais nitrogenados (piridínicos) e carboxílicos, formando um complexo de esfera interna.

Tabela 25- Parâmetros do modelo linear ajustados a disponibilidade de herbicidas auxínicos em função das características do solo

Herbicida	y0	a	R	R ²	F reg	P reg
Areia total (g dm⁻³)						
Picloram	7,338 ± 2,859	0,016 ± 0,056	0,427	0,182	8,240	0,0067
Triclopyr	2,524 ± 2,476	0,141 ± 0,005	0,433	0,188	8,548	0,0059
Aminopyralid	12,526 ± 3,541	0,019 ± 0,007	0,403	0,162	7,161	0,0110
2,4-D	4,822 ± 5,010	0,031 ± 0,010	0,461	0,212	9,972	0,0032
Argila (g dm⁻³)						
Picloram	23,362 ± 3,133	-0,029 ± 0,008	0,488	0,238	11,545	0,0016
Triclopyr	16,626 ± 2,714	-0,025 ± 0,007	0,493	0,243	11,872	0,0014
Aminopyralid	30,136 ± 3,983	-0,030 ± 0,011	0,422	0,178	7,997	0,0075
2,4-D	35,505 ± 5,474	-0,054 ± 0,015	0,520	0,271	13,729	0,0007
Silte (g dm⁻³)						
Picloram	17,920 ± 3,343	-0,015 ± 0,011	0,214	0,046	1,774	0,1910
Triclopyr	11,896 ± 2,902	-0,013 ± 0,010	0,219	0,018	1,871	0,1797
Aminopyralid	25,750 ± 4,057	-0,021 ± 0,014	0,248	0,062	2,424	0,1280
2,4-D	25,455 ± 5,935	-0,030 ± 0,02	0,238	0,057	2,224	0,1444
Matéria orgânica (g dm⁻³)						
Picloram	21,312 ± 3,067	-0,260 ± 0,094	0,414	0,171	7,631	0,0089
Triclopyr	14,069 ± 2,723	-0,201 ± 0,084	0,368	0,135	5,792	0,0212
Aminopyralid	29,686 ± 3,706	-0,337 ± 0,114	0,438	0,192	8,796	0,0053
2,4-D	29,412 ± 5,588	-0,416 ± 0,171	0,371	0,137	5,894	0,0202
pH						
Picloram	-17,538 ± 8,511	5,791 ± 1,532	0,528	0,279	14,286	0,0006
Triclopyr	-16,019 ± 7,685	4,486 ± 1,383	0,470	0,221	10,517	0,0025
Aminopyralid	-21,343 ± 10,092	7,628 ± 1,817	0,568	0,323	17,628	0,0002
2,4-D	-30,607 ± 15,954	8,872 ± 2,872	0,453	0,205	9,544	0,0038
Al³ (mmolc dm⁻³)						
Picloram	15,737 ± 1,833	-0,330 ± 0,151	0,338	0,114	4,761	0,0355
Triclopyr	9,717 ± 1,619	-0,247 ± 0,134	0,291	0,084	3,411	0,0728
Aminopyralid	22,485 ± 2,220	-0,434 ± 0,183	0,363	0,132	5,609	0,0232
2,4-D	20,222 ± 3,346	-0,474 ± 0,276	0,272	0,074	2,949	0,0943
H+Al³ (mmolc dm⁻³)						
Picloram	22,302 ± 2,156	-0,217 ± 0,044	0,631	0,398	24,441	<0,0001
Triclopyr	14,736 ± 2,013	-0,165 ± 0,041	0,552	0,305	16,250	0,0003
Aminopyralid	30,872 ± 2,548	-0,278 ± 0,052	0,662	0,439	28,903	<0,0001
2,4-D	30,707 ± 4,134	-0,339 ± 0,084	0,553	0,306	16,295	0,0003
V% (%)						
Picloram	0,341 ± 4,092	0,207 ± 0,057	0,512	0,263	13,172	0,0009
Triclopyr	-1,944 ± 3,705	0,157 ± 0,052	0,447	0,200	9,248	0,0043
Aminopyralid	2,072 ± 4,849	0,275 ± 0,068	0,556	0,309	16,525	0,0002
2,4-D	-2,427 ± 7,710	0,306 ± 0,108	0,423	0,179	8,074	0,0073
Fe (mg dm⁻³)						
Picloram	19,025 ± 2,106	-0,083 ± 0,024	0,492	0,242	11,831	0,0015
Triclopyr	11,974 ± 1,927	-0,058 ± 0,022	0,400	0,160	7,056	0,0116
Aminopyralid	27,006 ± 2,483	-0,112 ± 0,028	0,545	0,297	15,640	0,0003
2,4-D	25,022 ± 3,960	-0,120 ± 0,045	0,400	0,160	7,060	0,0116

* Parâmetros do modelo linear $y = y_0 + ax$ seguidos do erro padrão. y0: intercepto vertical, a: inclinação da curva, F reg: F da regressão, P reg: p-valor da regressão.

O aumento do pH provoca a competição entre os íons hidroxila (OH^-) e o picloram pelos sítios de adsorção, diminuindo a adsorção do herbicida (Marco-Brown *et al.*, 2014). A adsorção de triclopyr também é reduzida em faixas mais elevadas de pH, uma vez que, leva a uma interação de repulsão com as superfícies de argila carregadas negativamente (Pusino *et al.*, (1994),

A influência dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases trocáveis (S.B) e capacidade de troca catiônica (CTC) na sorção dos herbicidas é praticamente inexistente (correlação inferior a 0,14) (Tabela 24). Entretanto, o aumento dos micronutrientes enxofres (S), boro (B) e, manganês (Mn) sugerem maior capacidade de retenção dos herbicidas no solo. Por fim, a relação com o cobre (Cu) e o zinco (Zn) é mais fraca, o que indica uma influência limitada na retenção desses herbicidas (Tabela 24).

A interação desses herbicidas com a fração mineral do solo foi abordada anteriormente na literatura. De acordo com Pusino *et al.*, (1994), a adsorção do triclopyr em solos é significativamente influenciada pela presença de óxidos de ferro e alumínio, especialmente em ambientes com pH mais elevado. Essa forte interação é resultado das forças físicas, ligações de hidrogênio ou ligações catiônicas entre a fração piridina protonada da molécula do herbicida e a superfície da argila.

No caso do picloram, além da complexação com cátions metálicos (Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{4+}), o herbicida pode se ligar à superfície da argila ou da matéria orgânica através de pontes formadas por esses mesmos cátions. Sorção das formas protonadas e dipolares desde o deslocamento de prótons ligados às superfícies e ocupação de seus sítios sortivos; conexões de hidrogênio; interações de Van der Waals e interações eletrostáticas, também influenciam no processo de sorção (Biggar; Cheung, 1973).

A forma química do herbicida também influencia no seu comportamento sortivo. Em solos agrícolas, a forma aniônica de picloram é predominante, mas a presença de formas catiônicas e dipolares pode ocorrer em menor proporção, dependendo do pH do solo (Cheung; Biggar, 1974). Além do mais, maior adsorção de herbicidas catiônicos ocorre em solo tropicais e altamente intemperizados, devido ao elevado teor de matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, e predominância de minerais de argila do tipo 1:1, que têm cargas de atração que podem ser geradas em suas bordas (Mancuso *et al.*, 2011). Em solos com pH próximo à neutralidade, a ionização do herbicida leva à formação de íons negativos, que não são sorvidos na matéria

orgânica ou em minerais como óxidos de ferro e alumínio. Essa interação reduz a mobilidade do herbicida no solo, diminuindo sua disponibilidade para a planta. A capacidade de sorção do herbicida ao solo, expressa pelos parâmetros K_d e K_{oc} , é geralmente menor para herbicidas ácidos em comparação com bases fracas ou compostos não ionizáveis, o que os torna mais suscetíveis à influência do pH, conforme demonstrado nos resultados acima.

Clausen e Fabricius (2001) destacaram as interações entre pH e a fração mineral do solo no processo de adsorção de herbicidas. Em valores de pH superiores ao ponto de carga zero (PCZ), os minerais adquirem uma carga superficial negativa. Essa carga negativa repele os ânions, dificultando sua adsorção. Por outro lado, em pH inferior ao PCZ, a superfície mineral apresenta carga positiva, o que atrai os ânions, favorecendo o processo de adsorção (Clausen; Fabricius, 2001). Nesse caso, em pH próximos aos valores de PCZ a adsorção do herbicida é limitada pelo número de sítios positivos na superfície e, nas situações onde o pH é próximo ao pKa do herbicida, a adsorção é limitada pela concentração relativa das formas aniônicas dos pesticidas iônicos (Clausen; Fabricius, 2001).

Essas correlações auxiliam a entender como diferentes parâmetros do solo podem influenciar a persistência e o comportamento dos herbicidas. No entanto, uma única característica será responsável por explicar parte do comportamento sortivo de determinado herbicida no ambiente. Diversas características influenciam na sorção e disponibilidade de herbicidas, e, portanto, o conjunto dessas características irão determinar a sua dinâmica no solo.

4.3 Experimento III- Efeito dos herbicidas dicamba e 2,4-D em pré-emergência de plantas daninhas

A resposta de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica* e *A. hybridus* ao herbicida 2,4-D apresentou ajuste ao modelo log-logístico de 4 parâmetros, enquanto que *I. grandifolia* e *D. aegyptius* as demais espécies ajustaram-se melhor ao modelo hormético. Já a emergência de plântulas em resposta ao herbicida dicamba, apresentou um bom ajuste ao modelo log-logístico de 4 parâmetros (Tabela 26 e Figura 8).

Todas as espécies tiveram emergência reduzida aos 7 DAA em altas concentrações dos herbicidas 2,4-D e dicamba (Figura 8). Sendo que, *U. decumbens*

apresentou maior tolerância ao 2,4-D, requerendo altas doses para atingir 80% de redução na emergência de plântulas. *D. insularis* foi mais suscetível ao dicamba, ao passo que *E. indica* foi ao 2,4-D, onde, as doses para reduzir em 50% a emergência de plântulas, demonstrado pelo parâmetro “e”, foram de 577 e 959 g e a ha⁻¹, respectivamente (Tabela 26 e figura 8). Tais doses encontram-se nos intervalos recomendados em bula para aplicações em pós-emergência de plantas daninhas (2,4-D: 670 a 1340 g e a ha⁻¹ e Dicamba: 360 a 720 g e a ha⁻¹).

Tabela 26- Parâmetros dos modelos de plântulas emergidas (%) aos 7 DAA de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência

Modelo *	Espécie	b	c	d	e	f	ED ₈₀	P reg	R ² aj
2,4-D									
LL.4	<i>U. decumbens</i>	0,13 ± 0,34	-1,28 ± 183,26	123,33 ± 108,83	100,56 ± 1093,07		5355170,0 ± 205578435,0	0,000	0,715
LL.4	<i>D. insularis</i>	0,56 ± 0,19	-25,88 ± 50,70	100,95 ± 4,56	2155,74 ± 3368,56		26198,00 ± 61580,00	0,000	0,720
LL.4	<i>E. indica</i>	0,68 ± 0,20	-4,89 ± 22,07	100,48 ± 4,87	959,32 ± 713,83		7453,40 ± 9385,40	0,004	0,704
LL.4	<i>A. hybridus</i>	0,56 ± 0,12	-0,15 ± 4,65	100,16 ± 2,08	51,70 ± 13,87		623,04 ± 307,28	0,149	0,953
BC.4	<i>I. grandifolia</i>	0,05 ± 0,02	-	189,74 ± 51,66	0,01 ± 0,15	-0,02 ± 0,01	-	0,116	0,414
BC.5	<i>D. aegyptius</i>	0,00 ± 0,02	-203,13 ± 2511,60	413,23 ± 2512,90	3,86 ± 297,04	-0,02 ± 0,00	-	0,000	0,415
Dicamba									
LL.4	<i>U. decumbens</i>	1,88 ± 0,34	24,87 ± 3,25	100,78 ± 2,99	458,06 ± 56,73		957,12 ± 182,25	0,684	0,863
LL.4	<i>D. insularis</i>	0,97 ± 0,16	-8,93 ± 7,18	99,34 ± 3,02	577,15 ± 112,65		2423,91 ± 921,86	0,473	0,909
LL.4	<i>E. indica</i>	0,80 ± 0,15	-0,55 ± 11,72	99,87 ± 2,55	1045,35 ± 374,41		5859,50 ± 3722,20	0,003	0,899
LL.4	<i>A. hybridus</i>	0,38 ± 0,16	-4,48 ± 14,07	101,87 ± 5,05	41,09 ± 29,29		1649,30 ± 2858,70	0,204	0,873
LL.4	<i>I. grandifolia</i>	1,44 ± 0,44	-2,14 ± 8,32	102,63 ± 7,87	1658,86 ± 331,42		4356,10 ± 1512,9	0,496	0,999
LL.4	<i>D. aegyptius</i>	1,36 ± 0,45	27,36 ± 25,72	104,88 ± 2,35	4286,72 ± 2376,13		11857,00 ± 10157,00	0,001	0,970

* Parâmetros dos modelos seguidos pelo erro padrão (± EP), onde, b: inclinação da curva, c: assíntota horizontal inferior, d: assíntota horizontal superior, e: dose que promove redução de 50% na variável avaliada (LL) ou logaritmo do ponto de inflexão (BC), f: tamanho do efeito hormesis e ED₈₀: dose que promove redução de 80% na variável avaliada (LL).

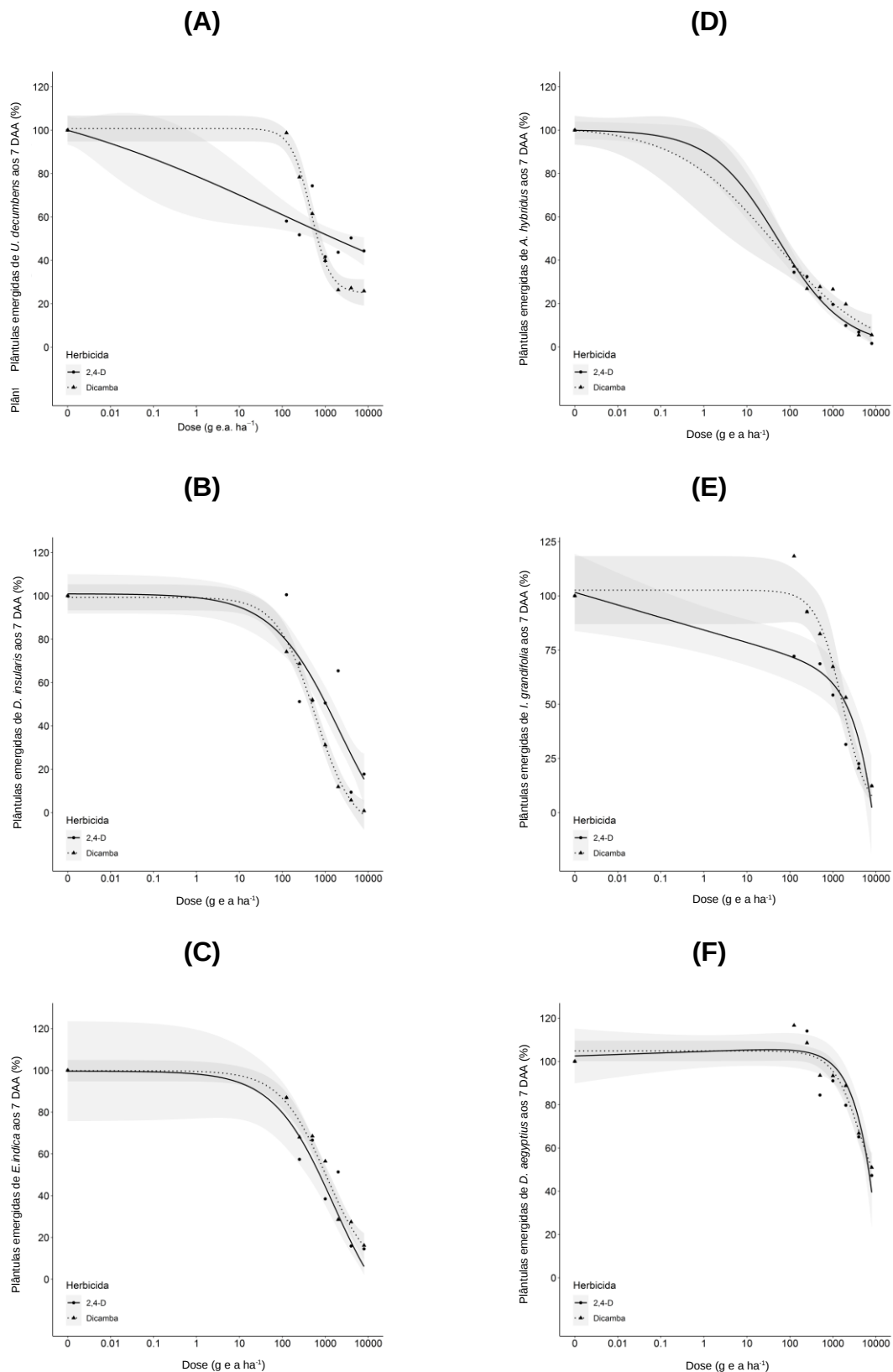
As espécies *I. grandifolia* e *D. aegyptius* apresentaram estímulo à germinação pouco expressivo em concentrações inferiores a 100 g e a ha⁻¹ de 2,4-D (Figura 8 E, F). Nos casos, onde foram ajustados os modelos de hormesis não foi possível acessar a dose que promoveu 50 ou 80% de redução na emergência de plântulas. As demais espécies demonstraram ED₈₀ superiores às recomendadas em pós-emergência de plantas daninhas, exceto *A. hybridus* em que foram necessários 623 g e a ha⁻¹ para redução da emergência aos 7 DAA.

Foram utilizados alguns recursos durante a análise para determinação do modelo a ser adotado, sendo eles, (1) comparação entre os modelos de hormesis e logístico, (2) coeficientes de determinação e, (3) comportamento das curvas estimadas pelos modelos através dos intervalos de confiança.

Na situação (1), a inclusão do coeficiente "f" no modelo de Brain e Cousens (1988) distingue-o do modelo de Streibig (1980), por ser um coeficiente considerado como a taxa de estímulo, responsável por atribuir o efeito hormesis. No entanto, o efeito de estímulo só é válido quando o coeficiente varia de 0 a 5% de probabilidade (Knezevic; Streibig; Ritz, 2007; Schabenberger *et al.*, 1999). Para identificar o efeito hormesis, os dados devem ser ajustados conforme o modelo de Brain e Cousens (Equação 8 ou 9). O ajuste é realizado comparando a diferença na soma dos quadrados médios da regressão entre os dois modelos, onde, é possível testar o quadrado médio associado à inclusão do coeficiente "f", com um grau de liberdade. Se o quadrado médio do modelo de hormesis for maior que o do modelo logístico, rejeita-se a hipótese de $f=0$, aceitando a ocorrência do estímulo de hormesis e aplicando a equação do modelo de hormesis (Equação 8 ou 9). Quando o valor do quadrado médio não é significativo, aceita-se a hipótese de $f=0$, concluindo que não há efeito de hormesis, e utiliza-se o modelo logístico (Equação 6 ou 7) (Velini *et al.*, 2008). Não satisfazendo a situação (1), a qualidade do ajuste das regressões foi avaliada através dos coeficientes de determinação.

Na situação (2), se compara a regressão linear com o modelo nulo, onde, melhor o ajuste dos dados quanto maior o seu valor. Por vezes, essa situação também não foi satisfeita, ou, insatisfatoriamente contemplada, uma vez que, na regressão não-linear, este parâmetro não indica o quanto da variabilidade de "y" é explicada por "x", já que a escolha de um modelo "nulo" não é tão simples e o R^2 será diferente dependendo do modelo não-linear utilizado (Ritz; Kniss; Streibig, 2015). Por fim, a situação (3) foi utilizada para confirmar qual dos modelos apresentou melhor ajuste aos dados com base nas características acima citadas.

Figura 8- Plântulas emergidas (%) aos 7 DAA de *U. decumbens* (A), *D. insularis* (B), *E. indica* (C), *A. hybridus* (D), *I. grandifolia* (E) e *D. aegyptius* (F) sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência



As respostas ao desenvolvimento, germinação e dormência de sementes em decorrência do balanço e sinalização de auxinas têm sido demonstrados na literatura. Li *et al.*, (2013), verificaram que em níveis elevados de auxina em *Arabidopsis*, fatores responsivos a auxinas regulam positivamente a transcrição de ABI3 (ABA insensitive 3), gene responsável pela regulação da resposta ao ácido abscísico (ABA), mantendo assim os níveis de dormência primária e repressão da germinação de sementes. Por outro lado, em níveis baixos de auxina os fatores responsivos a auxinas são reprimidos e a germinação é estimulada (Ramaih; Guedira; Paulsen, 2003). Neste caso, é possível que a redução da germinação de sementes esteja sendo regulada pela presença da auxina exógena em doses superiores dos herbicidas.

Os dados da porcentagem de plântulas emergidas aos 14 DAA apresentaram melhor ajuste aos modelos comparados as avaliações de 7 DAA (Tabela 27 e Figura 9). Todas as espécies apresentaram ED₅₀ dentro dos limites das doses recomendadas ou inferiores de 2,4-D e dicamba, exceto *E. indica* quando aplicado dicamba.

Observando os intervalos esperados para emergência em função das concentrações dos herbicidas apenas *I. grandifolia* apresentou comportamento muito similar entre os herbicidas, sendo a espécie responsiva similarmente a ambos (Figura 9). *E. indica* apresentou 50% de redução na emergência na dose de 1422 g e a ha⁻¹, quase duas vezes a dose máxima de bula de dicamba. No entanto, dose superiores a cerca de 1000 g e a ha⁻¹ de ambos os herbicidas apresentaram comportamento similar na redução da emergência.

E. indica, *A. hybridus* e *I. grandifolia* demonstraram maior sensibilidade ao 2,4-D, onde, a redução em 50% da emergência foi promovida com doses de 1003, 79 e 415,7 g e a ha⁻¹, respectivamente (Tabela 27). Em contrapartida, *D. insularis* demonstrou maior sensibilidade ao dicamba requerendo uma dose de 61,5 g e a ha⁻¹ para reduzir a emergência na mesma proporção. Ao se considerar a ED₈₀ somente *D. insularis*, *A. hybridus* e *I. grandifolia* tiveram a emergência suprimida com as doses recomendadas de 2,4-D e apenas *D. insularis* quando aplicado o dicamba (Tabela 27). Gazola *et al.*, (2022) também observou controle de *D. insularis* e *A. hybridus* em doses comerciais de 2,4-D sal colina e dicamba sal DGA, doses de 755 e 269 g e a ha⁻¹ foram necessários para 90% de controle. Para o controle de *E. indica* foi necessário doses acima de 8700 g e a ha⁻¹. Dicamba promoveu controle de *D. insularis*, *A. hybridus* e *E. indica* em doses de cerca de 132, 67 e 610 g e a ha⁻¹.

O efeito hormético na emergência de *D. aegyptius* aos 7 DAA quando aplicado 2,4-D se manteve aos 14 DAA. Houve estímulo até cerca de 1000 g e a ha⁻¹ e supressão em dose superiores (Tabela 27 e Figura 9 F).

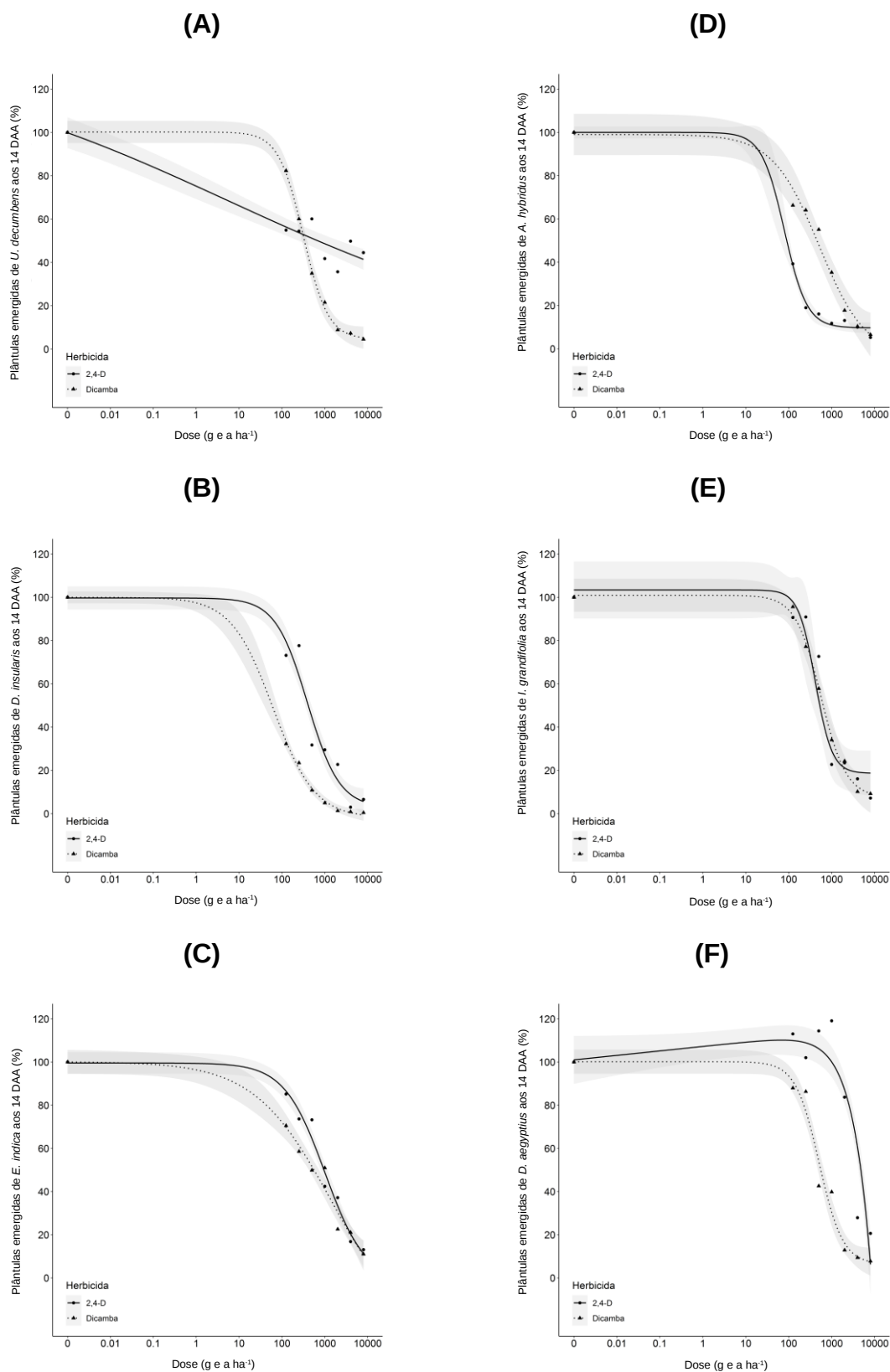
A ocorrência de baixas concentrações do herbicida estimulando a emergência pode desempenhar um papel importante no manejo dessas espécies. Primeiramente, a aplicação de 2,4-D em pós-emergência das plantas daninhas pode resultar em parte do herbicida sendo interceptado pelo dossel e parte sendo dissipada, seja por deriva, volatilização, lavagem pela chuva ou deposição no solo.

Tabela 27- Parâmetros dos modelos de plântulas emergidas (%) aos 14 DAA de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência

Modelo*	Espécie	b	c	d	e	f	ED ₈₀	P reg	R ² aj
2,4-D									
LL.3	<i>U. decumbens</i>	0,12 ± 0,03	-	136,74 ± 22,06	5,77 ± 18,67	-	969249,00 ± 1176392,00	0,045	0,703
LL.4	<i>D. insularis</i>	1,16 ± 0,19	2,81 ± 4,55	99,70 ± 2,67	393,10 ± 53,57		1292,21 ± 362,28	0,000	0,922
LL.4	<i>E. indica</i>	0,92 ± 0,15	-1,84 ± 9,26	99,55 ± 2,48	1003,14 ± 256,56		4544,60 ± 2126,70	0,006	0,915
LL.4	<i>A. hybridus</i>	1,65 ± 0,37	9,66 ± 1,26	100,02 ± 1,38	79,01 ± 10,27		183,25 ± 17,38	0,023	0,978
LL.4	<i>I. grandifolia</i>	2,22 ± 0,98	18,63 ± 5,28	103,38 ± 6,60	415,70 ± 84,44		766,69 ± 167,69	0,045	0,691
BC.5	<i>D. aegyptius</i>	-0,02 ± 0,04	-1,19 ± 256,59	223,33 ± 261,60	70,53 ± 1460,90	-0,03 ± 0,01	-	0,000	0,690
Dicamba									
LL.4	<i>U. decumbens</i>	1,50 ± 0,20	4,54 ± 2,90	100,25 ± 2,56	314,85 ± 29,84		791,57 ± 133,96	0,911	0,932
LL.4	<i>D. insularis</i>	0,89 ± 0,14	-1,93 ± -1,92	99,99 ± 1,35	61,53 ± 8,84		291,77 ± 46,63	0,479	0,982
LL.4	<i>E. indica</i>	0,48 ± 0,14	-28,69 ± 35,16	100,14 ± 2,84	1421,90 ± 1737,19		25144,00 ± 50586,00	0,021	0,888
LL.4	<i>A. hybridus</i>	0,80 ± 0,20	-3,50 ± 11,71	99,04 ± 4,78	507,02 ± 197,02		2846,60 ± 2047,10	0,541	0,770
LL.4	<i>I. grandifolia</i>	1,47 ± 0,30	7,58 ± 5,80	100,93 ± 3,82	560,00 ± 96,11		1434,70 ± 434,62	0,849	0,840
LL.4	<i>D. aegyptius</i>	1,58 ± 0,24	6,35 ± 3,88	100,15 ± 2,80	511,29 ± 58,46		1230,06 ± 250,29	0,000	0,911

*Parâmetros dos modelos seguidos pelo erro padrão (± EP), onde, b: inclinação da curva, c: assíntota horizontal inferior, d: assíntota horizontal superior, e: dose que promove redução de 50% na variável avaliada (LL) ou logaritmo do ponto de inflexão (BC), f= tamanho do efeito hormesis e ED₈₀: dose que promove redução de 80% na variável avaliada (LL).

Figura 9- Plântulas emergidas (%) aos 14 DAA de *U. decumbens* (A), *D. insularis* (B), *E. indica* (C), *A. hybridus* (D), *I. grandifolia* (E) e *D. aegyptius* (F) sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência



Uma parcela dessa dose aplicada próximo ao momento da semeadura da cultura pode estimular a emergência das plantas daninhas concomitantemente com a cultura, potencialmente resultando em competição durante o estabelecimento. Em segundo lugar, a utilização desses herbicidas em uma aplicação precoce pode ser uma estratégia para reduzir o banco de sementes, já que estimulará a emergência de plântulas para controle posterior, seja na pré ou pós-emergência das plantas daninhas.

No entanto, deve se ter muita cautela na utilização desses herbicidas uma vez que em um cenário onde também estão presentes plantas em estágios mais avançados de desenvolvimento pode estimular o crescimento e posterior competição com a cultura. Conforme observado por Gazola *et al.*, (2019), onde plantas de *D. insularis* com 4 a 6 perfilhos demonstraram estímulo de 7,6% em resposta a doses de 101 g e a ha⁻¹ de 2,4-D.

O número de plântulas emergidas das espécies aos 21 DAA apresentou bom ajuste ao modelo log-logístico de 4 parâmetros (Tabela 28 e figura 10). A redução em 50% da emergência de plântulas das espécies mono e eudicotiledôneas ocorreu dentro dos limites recomendados de controle em aplicações em pré-emergência e foi alcançada em doses inferiores à medida que se aumentava os dias após a aplicação (Tabela 28).

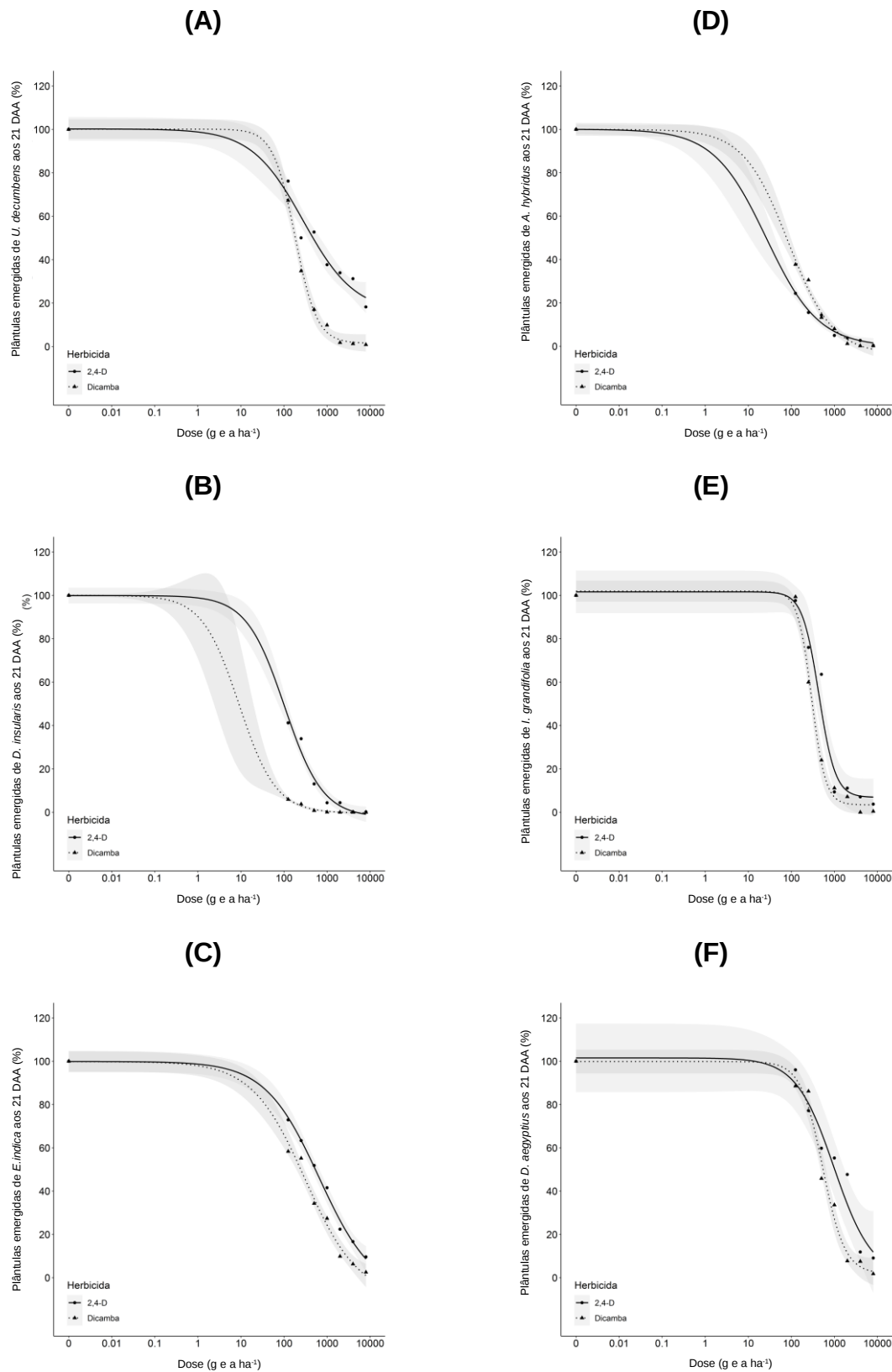
Tabela 28- Parâmetros dos modelos de plântulas emergidas (%) aos 21 DAA de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência

Modelo	Espécie	b	c	d	e	ED ₈₀	P reg	R ² aj
2,4-D								
LL.4	<i>U. decumbens</i>	0,72 ± 0,23	15,62 ± 10,20	100,26 ± 2,74	279,91 ± 110,88	1909,70 ± 1813,80	0,009	0,872
LL.4	<i>D. insularis</i>	0,98 ± 0,14	-2,34 ± 2,40	99,93 ± 1,82	102,93 ± 11,44	424,75 ± 79,78	0,041	0,967
LL.4	<i>E. indica</i>	0,69 ± 0,13	-7,59 ± 11,46	99,89 ± 2,45	657,46 ± 245,95	4905,10 ± 3482,60	0,668	0,919
LL.4	<i>A. hybridus</i>	0,71 ± 0,13	-0,11 ± 1,89	100,07 ± 1,11	26,13 ± 7,49	183,28 ± 30,86	0,097	0,988
LL.4	<i>I. grandifolia</i>	2,26 ± 0,56	6,87 ± 4,31	101,65 ± 4,90	436,30 ± 59,30	805,50 ± 128,16	0,083	0,809
LL.4	<i>D. aegyptius</i>	0,98 ± 0,35	0,44 ± 20,02	101,55 ± 7,93	976,57 ± 554,56	4013,40 ± 3637,4	0,573	0,504
Dicamba								
LL.4	<i>U. decumbens</i>	1,71 ± 0,23	1,53 ± 2,06	100,17 ± 2,26	180,06 ± 12,41	405,73 ± 52,55	0,694	0,952
LL.4	<i>D. insularis</i>	1,01 ± 0,23	-0,37 ± 0,42	100,01 ± 0,40	9,00 ± 5,31	35,38 ± 10,25	0,394	0,999
LL.4	<i>E. indica</i>	0,70 ± 0,12	-9,17 ± 7,58	99,85 ± 2,39	312,48 ± 75,05	2263,30 ± 1214,50	0,122	0,936
LL.4	<i>A. hybridus</i>	0,84 ± 0,12	-3,66 ± 2,38	99,99 ± 1,47	84,45 ± 9,57	442,02 ± 88,26	0,083	0,978
LL.4	<i>I. grandifolia</i>	2,68 ± 0,36	3,42 ± 2,16	101,96 ± 2,43	295,73 ± 17,80	496,38 ± 51,04	0,086	0,945
LL.4	<i>D. aegyptius</i>	1,69 ± 0,25	1,89 ± 3,64	99,87 ± 2,74	535,51 ± 53,31	1217,20 ± 213,50	0,018	0,922

* Parâmetros dos modelos seguidos pelo erro padrão ($\pm$ EP), onde, b: inclinação da curva, c: assíntota horizontal inferior, d: assíntota horizontal superior, e: dose que promove redução de 50% na variável avaliada (LL) ou logaritmo do ponto de inflexão (BC), f= tamanho do efeito hormesis e ED₈₀: dose que promove redução de 80% na variável avaliada (LL).

Todas as espécies apresentaram maior sensibilidade, nas mesmas concentrações aplicadas, ao dicamba demonstrado pela ED₅₀ (Tabela 28 e figura 10). Exceto *A. hybridus*, que apresentou maior sensibilidade ao herbicida 2,4-D, requerendo dose de 26 g e a ha⁻¹. A redução em 80% na emergência de plântulas foi obtida nas doses recomendadas de 2,4-D em pós-emergência, nas espécies *D. insularis*, *A. hybridus* e *I. grandifolia* e sob aplicação de dicamba em todas as espécies exceto *E. indica* e *D. aegyptius* (Tabela 28).

Figura 10- Plântulas emergidas (%) aos 21 DAA de *U. decumbens* (A), *D. insularis* (B), *E. indica* (C), *A. hybridus* (D), *I. grandifolia* (E) e *D. aegyptius* (F) sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência



A biomassa das plântulas emergidas aos 21 DAA demonstrou redução em relação à testemunha em decorrência da aplicação dos herbicidas auxínicos (Tabela 29 e Figura 11). Comportamento interessante foi observado na espécie *D. aegyptius*, que apresentou estímulo de aproximadamente 30% no crescimento de parte aérea próximo à dose de 280 g e a ha⁻¹ de 2,4-D, também influenciado pelo estímulo à emergência de plântulas aos 7 e 14 DAA. *U. decumbens* apresentou maior tolerância ao 2,4-D, uma vez que a ED₅₀ foi de 908,8 g e a ha⁻¹, em contrapartida, para a mesma porcentagem de redução da biomassa foram necessários 180,7 g e a ha⁻¹ de dicamba (Tabela 29).

Tabela 29- Parâmetros dos modelos da matéria seca (%) aos 21 DAA de *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência

Model o*	Espécie	b	c	d	e	f	ED ₈₀	P reg	R ² aj
2,4-D									
LL.4	<i>U. decumbens</i>	0,37 ± 0,29	-0,11 ± 40,73	101,26 ± 5,80	174,10 ± 345,38		7763,10 ± 37750,70	0,041	0,773
LL.4	<i>D. insularis</i>	0,90 ± 0,16	-1,97 ± 1,93	99,99 ± 1,45	52,84 ± 9,65		245,62 ± 38,87	0,062	0,980
LL.4	<i>E. indica</i>	1,31 ± 0,42	2,30 ± 8,19	95,72 ± 4,29	745,43 ± 127,52		2154,16 ± 949,45	0,000	0,863
LL.4	<i>A. hybridus</i>	1,72 ± 0,34	2,85 ± 0,68	100,00 ± 0,81	54,47 ± 9,37		121,87 ± 5,80	0,042	0,994
LL.3	<i>I. grandifolia</i>	0,48 ± 0,10	-	101,15 ± 2,59	10,20 ± 7,68		179,79 ± 48,01	0,044	0,954
BC.4	<i>D. aegyptius</i>	5,11 ± 0,62	-	99,99 ± 3,00	283,29 ± 10,95	0,27 ± 0,05	-	0,000	0,949
Dicamba									
LL.4	<i>U. decumbens</i>	1,20 ± 0,13	-2,61 ± 2,14	99,63 ± 1,94	180,75 ± 14,35		575,27 ± 80,47	0,000	0,964
LL.3	<i>D. insularis</i>	0,74 ± 0,07	-	100,90 ± 0,77	0,59 ± 0,32		3,84 ± 1,44	0,000	1,000
LL.4	<i>E. indica</i>	0,80 ± 0,14	-6,41 ± 6,61	99,84 ± 2,74	293,70 ± 60,83		1669,92 ± 759,77	0,329	0,920
LL.4	<i>A. hybridus</i>	1,57 ± 0,24	1,67 ± 0,34	100,05 ± 1,38	101,14 ± 7,07		244,68 ± 24,55	0,002	0,981
LL.4	<i>I. grandifolia</i>	2,00 ± 0,19	1,67 ± 1,06	100,06 ± 1,33	134,93 ± 5,13		270,21 ± 18,38	0,173	0,983
LL.4	<i>D. aegyptius</i>	1,23 ± 0,15	-1,13 ± 2,88	99,72 ± 2,23	274,25 ± 25,24		850,05 ± 151,12	0,002	0,951

* Parâmetros dos modelos seguidos pelo erro padrão (± EP), onde, b: inclinação da curva, c: assíntota horizontal inferior, d: assíntota horizontal superior, e: dose que promove redução de 50% na variável avaliada (LL) ou logaritmo do ponto de inflexão (BC), f= tamanho do efeito hormesis e ED₈₀: dose que promove redução de 80% na variável avaliada (LL).

As espécies que mais apresentaram sensibilidade aos herbicidas foram *D. insularis*, *A. hybridus* e *I. grandifolia*, uma vez que menores doses foram necessárias para redução em 50% e 80% da biomassa em comparação com as demais espécies

(Tabela 29). Para redução em 80% da biomassa das espécies foram necessários cerca de 246, 122 e 180 g e a ha⁻¹ de 2,4-D e cerca de 4, 245 e 270 g e a ha⁻¹, respectivamente.

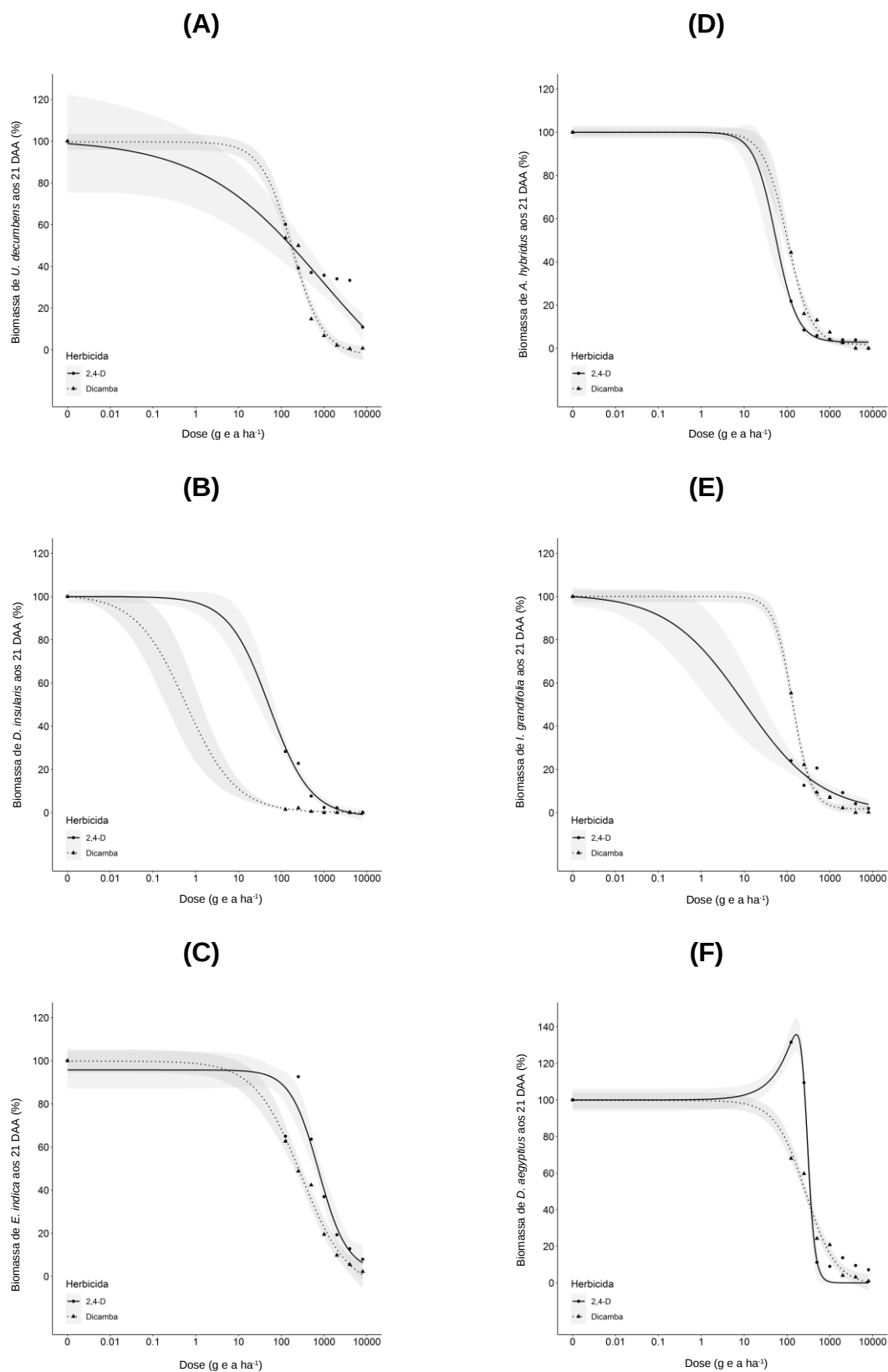
Em geral as espécies foram mais sensíveis ao dicamba, exceto *A. hybridus* e *I. grandifolia* (Tabela 29). Ou seja, para a mesma quantidade de equivalente ácido por hectare o dicamba promoveu maior redução na biomassa das plantas daninhas. Não é esperado que diferentes ingredientes ativos, mesmo que pertencentes ao mesmo mecanismo de ação e na mesma dose de aplicação, apresentem o mesmo poder inibitório, no entanto, é possível verificar a sensibilidade de espécies aos herbicidas individualmente quando aplicados na mesma dose.

Com este estudo, foi observado que o efeito fitotóxico dos herbicidas auxínicos varia de acordo com o tempo de exposição, tipo de herbicida utilizado e espécie. Ao longo das avaliações, notou-se a redução na dose necessária para suprimir em 50% e 80% a emergência e a biomassa das espécies estudadas.

Algumas espécies ainda mostraram estímulo à germinação e/ou ao crescimento da parte aérea, dependendo do tempo de exposição. Por exemplo, a espécie *D. aegyptius* apresentou quase 30% de estímulo na presença de 2,4-D, o que requer doses maiores para alcançar 50% e 80% de inibição (Tabela 29). A espécie monocotiledônea *E. indica* também demonstrou certa tolerância à ação dos herbicidas auxínicos quando aplicados em pré-emergência.

Para o manejo dessas espécies é importante considerar que a dose estimulante de parte aérea se encontra dentro das recomendadas para aplicação em pós-emergência de plantas daninhas. Além de que, ao considerar um cenário de aplicação inadequada onde ocorre a deriva do herbicida, ou ainda, processos que venham ocorrer durante a exposição e transposição do herbicida em um sistema com cobertura morta, sub-doses de 2,4-D ficam passíveis de absorção pelas partes vegetativas. Tal estímulo irá resultar em maior competição com a cultura tanto em decorrência do maior número de indivíduos por área, como por ocupação do espaço físico. O efeito de herbicidas auxínicos em plantas daninhas e disponibilidade no solo com palhada já foram descritos em estudos de Gazola *et al.*, (2022) e Mundt *et al.*, (2022). Ambos autores verificaram disponibilidade dos herbicidas no solo em ambiente agrícolas contendo palhada de milho e consequente controle de plantas daninhas aliada ao controle físico fornecido pela cobertura na superfície do solo.

Figura 11- Matéria seca (%) aos 21 DAA de *U. decumbens* (A), *D. insularis* (B), *E. indica* (C), *A. hybridus* (D), *I. grandifolia* (E) e *D. aegyptius* (F) sob diferentes concentrações de 2,4 e dicamba em pré-emergência



Além dos efeitos fitotóxicos já documentados na literatura (Buol *et al.*, 2019; Grossmann, 2010a; Klomp; Hull, 1968; Sunohara; Matsumoto, 2004) , observamos inibição da germinação, e, aquelas espécies que conseguem germinar e emergir apresentam comprometimento do metabolismo principalmente no desenvolvimento das raízes. Conforme experimento I, o estudo demonstrou que o sistema radicular está completamente atrofiado, levando à morte das plântulas.

Já as espécies menos sensíveis, como *U. decumbens*, *E. indica* e *D. aegyptius*, possivelmente possuem mecanismos que resultam em menor absorção e translocação dos herbicidas, além de uma maior capacidade de desintoxicação e regulação do balanço de auxinas exógenas. Uma vez que, segundo Davidonis *et al.* (1980), o 2,4-D e o IAA são metabolizados em dicotiledôneas em metabólitos temporários e reversíveis por desesterificação.

Em espécies monocotiledôneas, Gomes (2023) verificou o potencial hormético de 2,4-D em *U. decumbens* quando aplicado nos estágios de 4 a 5 perfilhos. O autor não encontrou efeito estimulante ou de fitointoxicação significativos ocasionados pelo composto, possivelmente devido aos mecanismos de desintoxicação da espécie. Alterações fisiológicas como aumento na eficiência do uso da água em doses entre 251 e 4020 g e a ha⁻¹ aos 28 DAA e redução na eficiência intrínseca de carboxilação na dose de 31,4 g e a ha⁻¹ foram encontradas, entretanto, não resultaram em redução da altura ou biomassa.

A seletividade do 2,4-D em monocotiledôneas está relacionada principalmente à formação e ao sequestro de metabólitos não tóxicos e permanentes, geralmente por modificações no anel fenil ou heterocíclico (Feung *et al.*, 1975). Entre outras características responsáveis por minimizar e anular a ação do herbicida quando aplicados em pós-emergência estão o câmbio revestido pelo esclerênquima, o que dificulta o rompimento, exsudação radicular e degradação por meio de reações de oxidação (Dias, 2015).

Por outro lado, nota-se que as espécies mais sensíveis a aplicação dos herbicidas em pré-emergência foram *A. hybridus* e *D. insularis*, onde concentrações a partir de 100 g e a ha⁻¹ de ambos os herbicidas proporcionaram mais de 50% de redução na emergência. Isto é válido uma vez que tais espécies apresentam resistência a herbicidas, tornando esse efeito favorável ao controle das espécies. Ao se tratar de uma espécie gramínea, onde o controle em pós emergência com herbicidas auxínicos não é aplicado, *D. insularis* apresentou efeito considerável

quando aplicado na pré-emergência provavelmente os mecanismos que auxiliam na seletividade desses herbicidas em gramíneas acima citados não estão completamente desenvolvidos.

Estudo de Boivin *et al.*, (2005) demonstrou que cerca de 70% do 2,4-D aplicado foi liberado rapidamente 1h após a aplicação em solos argilosos e de textura média, enquanto 80% foi liberado em solo arenoso. A cinética de liberação estudada pelos autores ainda sugere que grande parte do 2,4-D aplicado estará prontamente disponível pelos 10 primeiros dias após a aplicação e o processo de sorção é reversível, grande parte devido a maior solubilidade em água. A mineralização do composto é considerada uma das principais formas de dissipação do 2,4-D, onde os autores encontraram 50% após um período de 10 dias.

O comportamento desses herbicidas de acordo com as características do solo já foi abordado no experimento 2, e, pode ser correlacionada com os resultados obtidos nas aplicações em pré-emergência. Podemos inferir que a capacidade de controle das espécies testadas em pré-emergência se deve ao fato, de apresentar efeito rápido e nocivo mesmo em menores doses, aliados, as características de sorção no solo. A pronta disponibilidade para absorção pelas plantas e consequente controle, verificado mesmo aos 7 dias após a aplicação, pode ter sido devido as características do solo como o pH e a taxa de mineralização, conforme abordado por Boivin *et al.*, (2005). Neste estudo, o pH do solo foi superior ao pKa do 2,4-D, por exemplo, e portanto, o que pode ter aumentado a disponibilidade dos herbicidas na solução do solo logo após a aplicação.

5 CONCLUSÕES

Os efeitos dos herbicidas auxínicos apresentaram efeitos difusos na germinação, plântulas deformadas e/ou mortas, comprimento de parte aérea e raízes resultando tanto em estímulo quanto em supressão a depender da espécie, concentração e tempo de avaliação. Dicamba apresentou estímulo a germinação, dependente da concentração, em *U. decumbens* e *D. insularis* aos 7 DAS, e, em *A. hybridus* aos 14 DAS. Enquanto que, os herbicidas suprimiram a germinação de *E. indica* na concentração de 10 ppm. No entanto, 2,4-D e dicamba demonstraram efeito supressor significativo no crescimento de raízes das espécies a partir de 0,5 ppm.

O comportamento dos herbicidas quanto a ordem de sorção no solo, do maior para o menor, foi: triclopyr, 2,4-D, picloram e aminopyralid. Em relação à disponibilidade, a sequência foi: aminopyralid, 2,4-D, picloram e triclopyr. A redução da disponibilidade dos herbicidas no solo ocorre com aumento dos teores de argila, matéria orgânica, Al_3 , $H+Al_3$ e Fe, e; redução da disponibilidade com o aumento dos teores de areia total, pH e V%.

O efeito fitotóxico de 2,4-D e dicamba aplicados em pré-emergência de plantas daninhas em solo de textura média varia de acordo com o tempo de exposição, ingrediente ativo e espécie. As espécies *U. decumbens*, *E. indica* e *D. aegyptius* apresentaram menor suscetibilidade aos herbicidas testados em pré-emergência. Enquanto que, as espécies demonstraram menores doses para redução da emergência na presença de dicamba, exceto *A. hybridus*. A inibição de biomassa das espécies, exceto *A. hybridus* e *I. grandifolia*, foi mais expressiva nas aplicações de dicamba. Mesmo que os herbicidas auxínicos apresentam uma disponibilidade média no solo entre 9 e 20%, as concentrações foram suficientes para garantir redução da emergência e biomassa das plantas daninhas.

Os efeitos inibitórios no crescimento de raízes e, consequente redução na emergência e biomassa dos herbicidas 2,4-D e dicamba, quando aplicado em pré-emergência podem ser alternativas de manejo de espécies daninhas, incluindo aquelas que podem apresentar resistência a herbicidas ou ainda, em gramíneas, que naturalmente apresentam mecanismos que conferem seletividade nas aplicações em pós-emergência.

REFERÊNCIAS

- ABELES, F.B.; MORGAN, P.W.; SALTVEIT, M.E. **Ethylene in plant biology**. San Diego: Academic Press, 1992.
- ARGUESO, C. T.; HANSEN, M.; KIEBER, J. J. Regulation of ethylene biosynthesis. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 26, p. 92–105, 2007.
- ASSIS, E.; SILVA, A.; BARBOSA, L.; QUEIROZ, M.; DANTONINO, L.; CRUZ, L. Sorption and desorption of picloram in soils under pasture in Brazil. **Planta Daninha**, v. 29, p.893-899, 2011.
- BIGGAR, J. W.; CHEUNG, M. W. Adsorption of picloram (4-amino-3,5,6-trichloropicolinic acid) on Paloche, Ephrata, and Palouse soils: a thermodynamic approach to the adsorption mechanism. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 37, p. 863-868, 1973.
- BOIVIN, A.; AMELLAL, S.; SCHIAVON, M.; VAN GENUCHTEN, M. T. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. **Environmental Pollution**, v. 138, p. 92-99, 2005.
- BRAIN, P.; COUSENS, R. An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. **Weed Research**, v.29, p.93-96, 1988.
- BRAR, A.P.; PUNIA, S.S.; YADAV, A.; MALIK, R. K. Effect of pH on degradation of sulfosulfuron in soil. **Indian Journal of Weed Science**, v. 38, p.115-118, 2006.
- BROCHADO, M.G.S.; MENDES, K. F; DE PAULA, D.F.; SOUZA, P.S.R.; INOUE, M.H. **Novas perspectivas para utilização do dicamba na agricultura brasileira**. In book: Sistemas de Produção nas Ciências Agrárias, Atena. 2021
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- BUOL, J. T.; REYNOLDS, D. B.; DODDS, D. M.; MILLS, J. A.; NICHOLS, R. L.; BOND, J. A.; JENKINS, J. N.; DUBIEN, J. L. Effect of growth stage on cotton response to a sublethal concentration of dicamba. **Weed Technology**, v. 33, p. 1-8, 2019.
- CARBONARI, C.A.; COSTA, R.N.; GIOVANELLI, B.F.; VELINI, E.D. Evaluating methods and factors that affect dicamba volatility. **Advances in Weed Science**, v.40, 2022.
- CARBONARI, C.A. **Efeito da palha na disponibilidade do herbicida amicarbazone na solução do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar**. 2009. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D.; MATOS, A.K.A.; GOMES, G.L.G.C. Efeito da cobertura morta na dinâmica de herbicidas no solo. In: MENDES, K.F.; INOUE, M.H.; TORNISIELO, V.L. editors. **Herbicidas no Ambiente: Comportamento e Destino**. 1st ed. Vol. 1. Viçosa: Editora UFV; 2022a. pp. 205-216.

CARNEIRO, V. T. C.; RODRIGUES, J. C. M.; CABRAL, G.B.; IRSIGLER, A. S. T; DUSI, D. M. A. **Avanços da biotecnologia da apomixia em braquiária e perspectivas para inovação**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2023.p.21

CARRINGER, R.D.; WEBER, J.B.; MONACO, T.J. Adsorption-desorption of selected pesticides by organic matter and montmorillonite. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.23, 1975.

CASTRO, A. F.; BAREETO, W. O.; ANASTICIO, M. L. B. Correlação entre pH e saturação de bases de alguns solos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.7, p.9-17, 1972.

CHANG, F. Y.; VANDEN BORN, W. Dicamba uptake, translocation, metabolism, and selectivity. **Weed Science**, v. 19,p. 113-117, 1971.

CHENG, H. H. Picloram in soil: extraction and mechanism of adsorption. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.6, p.28-33, 1971.

CHEUNG, M. W.; BIGGAR, J. W. Solubility and molecular structure of 4-amino-3,5,6-trichloropicolinic acid in relation to pH and temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 22, p. 202-206, 1974.

CLAUSEN, L.; FABRICIUS, L. Atrazine, isoproturon, mecoprop, 2,4-D, and bentazone adsorption onto iron oxides. **Journal of Environmental Quality**, v.30, p.858-869, 2001.

COBB, A.H. 1992. Auxin-type herbicides. In: COBB, A.H., editor. **Herbicides and plant physiology**. London: Chapman and Hall, p 82-106.

COBB, A. H.; READE, J. P. H. **Herbicides and Plant Physiology**. 2ed. Oxford: John Wiley & Sons. 2010. p.296

CRUZ, R. P.; FEDERIZZI, L. C.; MILACH, S. C. K. **A apomixia no melhoramento de plantas**, 1998.

DAVIDONIS, G.H.; HAMILTON, R.H.; MUMMA, R.O. Metabolism of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in soybean root callus-evidence for the conversion of 2,4-D amino-acid conjugates to free 2,4-D. **Plant Physiology**, v.66, p.537-540, 1980.

DAY, J. Y. *et al.* Determination and estimation of water solubilities and octanol/ water partition coefficients for derivatives of benzanilides. **Chemosphere**, v. 37, p.1419-1426, 1998.

DE PAOLIS, F.; KUKKONEN, J. Biding of organic pollutants to humic and fulvic acids: influence of pH and the structure of humic material. **Chemosphere**, v.34, n.8, p.1693-1704, 1997.

DEVINE, M.; DUKE, S.O; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. PTR Prentice Hall, 1992.

DHARUMARAJAN, S.; SANKAR, R.; ARUN, S. Persistence and dissipation of pretilachlor in soil, plant and water of coastal rice ecosystem. **Indian Journal of Weed Science**, v.43, p.199-202, 2011.

DIAS, G. L. S. **Sintomas de intoxicação de culturas por herbicidas**. 2015

EMENECKER, R. J.; STRADER, L. C. Auxin-abscisic acid interactions in plant growth and development. **Biomolecules**, v. 10, n. 2, 2020.

FAST, B. J.; FERRELL, J. A.; MACDONALD, G. E.; KRUTZ, L. J.; KLINE, W. N. Picloram and Aminopyralid Sorption to Soil and Clay Minerals. **Weed Science**, v. 58, n. 4, p. 484-489, 2010.

MENDES, K.F; SOUSA, R.N.; LIMA, A. C.; GODOI JR., M.A. **Understanding the environmental behavior of herbicides: a systematic review of practical insights**. Pesticides - agronomic application and environmental impact. IntechOpen, 2023.

FEUNG, C. S.; HAMILTON, R. H.; MUMMA, R. O. Metabolism of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. VII. Comparison of metabolites from five species of plant callus tissue cultures. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.23, p.373-376, 1975.

FIGUEIREDO, M. R. A. *et al.* Metabolism of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid contributes to resistance in a common waterhemp population (*Amaranthus tuberculatus*) population. **Pest Management Science**, v.74, p.2356-2362, 2018.

GAZOLA, T.; COSTA, R. N.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Dynamics of 2,4-D and dicamba applied to corn straw and their residual action in weeds. **Plants**, v. 11, n. 20, p. 2800, 2022.

GAZOLA, T.; DIAS, M. F.; DIAS, R. C.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Effects of 2,4-D Herbicide on Species of the Digitaria Genus. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-12, 2019.

GEBLER, L.; SPADOTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo, RS, Brasil: Embrapa Trigo, 2008. p.39-69.

GHANIZADEH, H.; HARRINGTON, K. C.; JAMES, T. K. A comparison of dicamba absorption, translocation and metabolism in *Chenopodium album* populations resistant and susceptible to dicamba. **Crop Protection**, v. 110, p.112-116, 2018.

GOMES, D. M. **Potencial hormético de herbicidas com diferentes mecanismos de ação em *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus urograndis***. 2023. Universidade Estadual Paulista, Faculdade De Ciencias Agronomicas, Botucatu, 2023.

GOMES, G.L.G.C. **Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glyphosate e fosfito**. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

GREY, T. L.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G. R. H.; HANCOCK, H. G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, p.733-738, 1997.

GROSSMANN, K. **Mediation of herbicide effects by hormone interactions**, 2003. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00344-003-0020-0>>

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: Current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, p. 113-120, 2010a.

GROSSMANN, K.; RETZLAFF, G. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). **Pesticide Science**, v.50, p.11-20, 1997.

GROSSMANN, K. The mode of action of auxin herbicides: a new ending to a long, drawn out story. **Trends Plant Science**, v.5, p. 506-508, 2000b.

GROSSMANN, K. The mode of action of quinclorac: a case study of a new auxin-type herbicide. In: COBB, A.H.; KIRKWOOD, R.C. eds. **Herbicides and their mechanisms of action**. Sheffield: Sheffield Academic Press, p 181–214, 2000a.

GUPTA, M.; GARG, N. K.; HIMANSHU JOSHI; SHARMA, M. P. Persistence and mobility of 2,4-D in unsaturated soil zone under winter wheat crop in sub-tropical region of India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.146, p.60-72, 2012

HAGEN, G.; GUILFOYLE, T. Auxin-responsive gene expression: Genes, promoters and regulatory factors. **Plant Molecular Biology**, v. 49, p.373-385, 2002.

HAGIN, R. D.; LINSKOTT, D. L.; DAWSON, J. E. 2,4-D Metabolism in Resistant Grasses. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 18, p. 848-850, 1970.

HALIFAX, J. C.; SCIFRES, C. J. Influence of Dicamba on Development of Range Grass Seedlings. **Weed Science**, v. 20, n. 5, p. 414-416, 1972.

HANSON, J.B; SLIFE, F. Role of RNA metabolism in the action of action of auxin-herbicides. In: GUNTHER, F. (Ed.). **Residues of pesticides and other foreign chemicals in foods and feeds**. New York: Springer-Verlag, 1969. p. 59-67.

HRAC (2024). **Herbicide Resistance Action Committee**. Disponível em: <https://hracglobal.com/tools/2024-hrac-global-herbicide-moa-classification>. Acesso em: 21 de setembro de 2024.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science**, v.85, p.23-29, 2005.

KENDE, H.; ZEEVAART, J.A.D. The five classical plant hormones. **Plant Cell**, v., p.1197-210, 1997

KLOMP, G. J.; HULL, A. C. Effects of 2,4-D on emergence and seedling growth of range grasses. **Journal of Range Management**, v. 21, n. 2, p. 67–70, 1968.

KNEZEVIC, S.Z.; STREIBIG, J.C.; RITZ, C. Utilizing R software package for dose-

response studies: The concept and data analysis. **Weed Technology**, v.21, p.840-848, 2007.

KOO, S. J.; NEAL, J. C.; DITOMASO, J. M. Mechanism of action and selectivity of quinclorac in grass roots. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 57, p. 44-53, 1997.

KRAFT, M.; KUGLITSCH, R.; KWIATKOWSKI, J.; FRANK, M.; GROSSMANN, K. Indole-3-acetic acid and auxin herbicides up-regulate 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene expression and abscisic acid accumulation in cleavers (*Galium aparine*): Interaction with ethylene. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p.1497-1503, 2007.

LIU, X.; ZHANG, H.; ZHAOB, Y.; FENGA, Z.; LIA, Q.; YANGC, H.Q.; LUAND, S.; LIE, J.; HE, Z.H. Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling by inducing ARF-mediated ABI3 activation in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.110, 15485-15490, 2013.

LJUNG, K.; HULL, A. K.; KOWALCZYK, M.; MARCHANT, A.; CELENZA, J.; COHEN, J. D.; SANDBERG, G. Biosynthesis, conjugation, catabolism and homeostasis of indole-3-acetic acid in Arabidopsis thaliana. **Plant Molecular Biology**, v. 50, p.309-332, 2002.

MANCUSO, M.A.C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá, v.10, p.151-164, 2011.

MARCO-BROWN, J. L.; ARECO, M. M.; TORRES SÁNCHEZ, R. M.; DOS SANTOS AFONSO, M. Adsorption of picloram herbicide on montmorillonite: Kinetic and equilibrium studies. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 449, n. 1, p. 121-128, 2014.

MATILLA, A. J. Auxin: Hormonal signal required for seed development and dormancy. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 1-17, 2020.

MATTHES, M. S.; BEST, N. B.; ROBIL, J. M.; MALCOMBER, S.; GALLAVOTTI, A.; MCSTEEN, P. Auxin EvoDevo: Conservation and diversification of genes regulating auxin biosynthesis, transport, and signaling. **Molecular Plant**, v.12, p.298-320, 2019.

MATOS, A. K. A. De; CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; VELINI, E. D. Dinâmica de herbicidas em pré-emergência em sistemas de produção com palha. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, p.97, 2016.

MONQUERO, P.A.; SILVA, P.V. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: BARROSO, A.A.M.; MURATA, A.T.eds. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. 1ª ed. Vol. 1. Jaboticabal: Fábrica da Palavra; 2021. pp. 253-294

MORTON, H. L.; ROBINSON, E.D; MEYER, R. E. Persistence of 2,4-D, 2,4,5-T and dicamba in range forage grasses. **Weeds**, v. 15, n. 3, p. 268–271, 1967.

MUNDT, T. T.; CARBONARI, C. A.; MOISINHO, I. S.; DE BRITO, I. P. F. S.; PICOLI JUNIOR, G. J.; OVEJERO, R. F. L.; VELINI, E. D. Dynamics and weed control

effectiveness of dicamba herbicide when applied directly on the soil and corn straw in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 57, n. 11, p. 865-875, 2022.

NPIC. **National Pesticide Information Center**. Disponível em: <http://npic.orst.edu/hpt/table.html>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2025.

OCHSNER, T.E.; STEPHENS, B.M.; KOSKINEN, W.C.; KOOKANA, R.S. Sorption of a hydrophilic pesticide: effects of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.1991-1997, 2016.

OKADA, E.; COSTA, J.L.; BEDMAR, F. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. **Geoderma**, v.263, 78-85, 2016.

OLIVEIRA, F.M.; BRIGUENTI, A.M. Comportamento de herbicidas no meio ambiente. 263-304p. In.: OLIVEIRA JR. R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (eds). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. 348p.

OECD. Organization for Economic Co-Operation and Development. **Guidelines for Testing of Chemicals - Aerobic and anaerobic transformation in soil**. Vol. Test 307. Paris, France: OECD; 2002. p.17

PAZMIÑO, D. M.; ROMERO-PUERTAS, M. C.; SANDALIO, L. M. Insights into the toxicity mechanism of and cell response to the herbicide 2,4-D in plants. **Plant Signaling and Behavior**, v. 7, p.425-427, 2012.

PICTON, P.; FARENHORST, A. Factors influencing 2,4-D sorption and mineralization in soil. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 39, n. 3, p. 367-379, 2004.

PPDB. **Pesticides Properties DataBase**. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>. Acesso em 21 de setembro de 2024.

PUSINO, A.; LIU, W.; GESSA, W. Adsorption of Triclopyr on Soil and Some of Its COMPONENTS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.42, p.1026-1029, 1994.

QUEIROGA, C. L. Analisadores de massa: QTRAP. In.: **Espectrometria de massas: princípios e aplicações**. Disponível em: <http://www.espectrometriademassas.com.br/capitulos/assuntos/assunto.asp?codcapitulo=8&codassunto=44&numero=8>. Acesso em: 15 jul. 2014.

R Core Team. (2016). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RAMAIIH, S.; GUEDIRA, M.; PAULSEN, G.M. Relationship of indoleacetic acid and tryptophan to dormancy and preharvest sprouting of wheat. **Functional Plant Biology**, v. 30, p.939-945, 2003.

RAVE, L.A.B.; MENDES, K.F; SILVA, A.A. Interferência do pH do solo no comportamento de herbicidas ácidos fracos. **MIPD, Boletim Informativo**, n.7, 2020.

RITZ, C.; KNISS, A. R.; STREIBIG, J. C. Research Methods in Weed Science: Statistics. **Weed Science**, v.63, p. 166-187, 2015.

ROBERT, H. S.; PARK, C.; GUTIÉRREZ, C. L.; WÓJCIKOWSKA, B.; PENCÍK, A.; NOVÁK, O.; CHEN, J.; GRUNEWALD, W.; DRESSELHAUS, T.; FRIML, J. Maternal auxin supply contributes to early embryo patterning in Arabidopsis. **Nature Plants**, v.4, p. 548-553, 2018.

SCHABENBERGER, O.; THARP, B. E.; KELLS, J. J.; PENNER, D. Statistical tests for hormesis and effective dosages in herbicide dose response. **Agronomy Journal**, v.91, p.713-721, 1999.

SCHEEL, D.; SANDERMANN, H. Metabolism of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid in cell suspension cultures of soybean (*Glycine max* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). **Planta**, v.152, p. 253-258, 1981.

SCHELTRUP, F.; GROSSMANN, K. Absciscic acid is a causative factor in the mode of action of the auxinic herbicide quinmerac in cleaver (*Galium aparine* L.). **Journal of Plant Physiology**, v.147, p.118-126, 1995.

SHUAI, H.; MENG, Y.; LUO, X.; CHEN, F.; ZHOU, W.; DAI, Y.; QI, Y.; DU, J.; YANG, F.; LIU, J.; YANG, W.; SHU, K. Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. **Scientific Reports**, v. 7, p.1-11, 2017.

SENSEMAN, S.A. 2007. **Herbicide Handbook**, 9th edition. Weed Science Society of America. Lawrence, KS.

SigmaPlot (2013) **Systat Software**, Inc. Version 12.5. San Jose, CA.

SILVA, A. A. *et al.* Comportamento de herbicidas no solo. In: MONQUERO, P. A. (Org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima, 2014. p. 145-165.

SILVA, A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR, R.S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.; SILVA, J.F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.189-248.

SIREESHA, A.; RAO, P.C.; RAO, P.V.; SWAPNA, G.; RAMALAKSHMI, C.S. Persistence of pendimethalin and oxyfluorfen at different temperature and moisture levels in an alfisol and vertisol. **Indian Journal of Weed Science**, v.43, p.181- 187, 2011.

SONDHIA S. Evaluation of leaching potential of pendimethalin in clay loam soil. **Pesticide Research Journal**, v.19, p.119-121, 2007.

SPADOTTO, C. A.; MATALLO, M. B.; GOMES, M. A. F. Sorção Do Herbicida 2,4-D Em Solos Brasileiros. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, p.103-110, 2003.

STREIBIG, J.C. Models for curve-fitting herbicide dose response data. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.30, p.59-64, 1980.

SUN, J.; MA, X.L.; WANG, W.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; WANG, Y.J.; FENG, J. The adsorption behavior of atrazine in common soils in northeast China; **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.103, p.316-322, 2019.

SUNOHARA, Y.; MATSUMOTO, H. Oxidative injury induced by the herbicide quinclorac on *Echinochloa oryzicola* Vasing and the involvement of antioxidative ability in its highly selective action in grass species. **Plant Science**, v. 167, p.597-606, 2004.

SWARUP, R.; BHOSALE, R. Developmental roles of AUX1/LAX auxin influx carriers in plants. **Frontiers in Plant Science**, v.10, p.1306, 2019.

TRESCH, S.; GROSSMANN, K. Quinclorac does not inhibit cellulose (cell wall) biosynthesis in sensitive barnyard grass and maize roots. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 75, p. 73-78, 2003.

VAN OVERBEEK, J. Survey of mechanisms of herbicide action. In: AUDUS, L.J. editor. **The physiology and biochemistry herbicide effects of herbicide action**. New York: Academic Press, 1964, p 387-400.

VELINI, E. D. **Comportamento de herbicidas no solo**. Simpósio Nacional sobre Manejo de Plantas Daninhas em Hortaliças, v. 1, p. 44-64, 1992.

VELINI, E. D.; ALVES, E.; GODOY, M. C.; MESCHEDE, D. K.; SOUZA, R.T.O.; DUKE, S. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v.64, p.489-496, 2008.

WERNER, D.; GARRATT, J. A.; PIGOTT, G. Sorption of 2,4-D and other phenoxy herbicides to soil, organic matter, and minerals. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, p.129-139, 2013.

WEBER, J.B.; WILKERSON, G.G.; REINHARDT, C.F. Calculating pesticide sorption coefficients (K_d) using selected soil properties. **Chemosphere**, v.55, p.157-166, 2004.

WOLT, J.D. **Ground and surface water exposure assessment for triclopyr**. GH-C4350. DowElanco, Indianapolis, IN.1998

YAMADA, Y. Dicamba (240). **Joint Meeting of Pesticide Residues**, n. 196, p. 936-1079, 2011.

ZANGOUEINEJAD, R.; EBRAHIM, M. T.; TSENG, T.M. Absorption and translocation of dicamba in dicamba-tolerant wild tomato. **Canadian Journal of Plant Science**, v.101, p.30-38, 2021.

APÊNDICE A- Análise de variância das variáveis de germinação, plântulas deformadas, comprimento de parte aérea e raízes avaliadas em diferentes espécies de plantas daninhas aos 7 DAS

Parâmetros da ANOVA*	<i>U. decumbens</i>	<i>D. insularis</i>	<i>E. indica</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>I. grandifolia</i>	<i>D. aegyptius</i>
Germinação (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,0000	0,0002	0,0008	0,1856	0,9709	0,3162
Herbicida (Pr>Fc)	0,0000	0,0001	0,2226	0,0000	0,0001	0,0006
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,0136	0,0080	0,9611	0,1102	0,1627	0,3565
SQ Resíduo	25965,0	184228,0	150906,0	550268,0	101844,0	32992,0
SQ Total	43787,0	338053,0	201416,0	812654,0	139707,0	43461,0
CV (%)	18,2	47,5	54,6	64,8	37,4	21,1
DMS	27,2	72,6	65,7	125,4	53,9	30,7
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	370,9	2631,8	2155,8	7861,0	1454,9	471,3
Plântulas deformadas (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,4635	0,0000	0,0000	0,0000	0,4135	0,1150
Herbicida (Pr>Fc)	0,7435	0,0000	0,0000	0,0000	0,3208	0,0052
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,2897	0,0000	0,0000	0,0000	0,4135	0,2386
SQ Resíduo	164,2	0,0	0,0	0,0	136,7	884,1
SQ Total	184,9	0,0	0,0	0,0	154,3	1158,4
CV (%)	286,9	0,0	0,0	0,0	894,4	268,2
DMS	2,2	0,0	0,0	0,0	2,0	5,0
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	2,3	0,0	0,0	0,0	2,0	12,6
Comprimento de parte aérea (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,0000	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
Herbicida (Pr>Fc)	0,0477	0,0276	0,0000	0,0029	0,1446	0,0000
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,4856	0,0186	0,0105	0,3465	0,0079	0,0000
SQ Resíduo	10944,0	54195,0	107370,0	18194,2	32605,0	9570,0
SQ Total	37784,0	89762,0	234044,0	31403,7	94263,0	42005,0
CV (%)	15,8	33,4	41,9	18,2	26,7	14,5
DMS	17,7	39,4	55,4	22,8	30,5	16,5
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	156,3	774,2	1533,9	259,9	465,8	136,7
Comprimento de raízes (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Herbicida (Pr>Fc)	0,0073	0,0001	0,0038	0,0000	0,0324	0,0000
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,0066	0,0006	0,0012	0,0000	0,0004	0,0002
SQ Resíduo	3052,0	5043,0	274600,0	6297,0	4678,0	16575,0
SQ Total	104775,0	116070,0	529617,0	89862,0	76355,0	9898,0
CV (%)	18,7	30,2	116,2	19,4	18,5	25,7
DMS	9,3	12,0	88,6	13,4	11,6	21,8
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	43,6	72,0	3922,9	90,0	66,8	236,8

* SQ resíduo: soma de quadrados do resíduo; SQ total: soma de quadrados total; CV (%): coeficiente de variação dado em porcentagem; DMS: diferença mínima significativa; t: teste t-Student; GL resíduo: graus de liberdade do resíduo; QME: quadrado médio do resíduo.

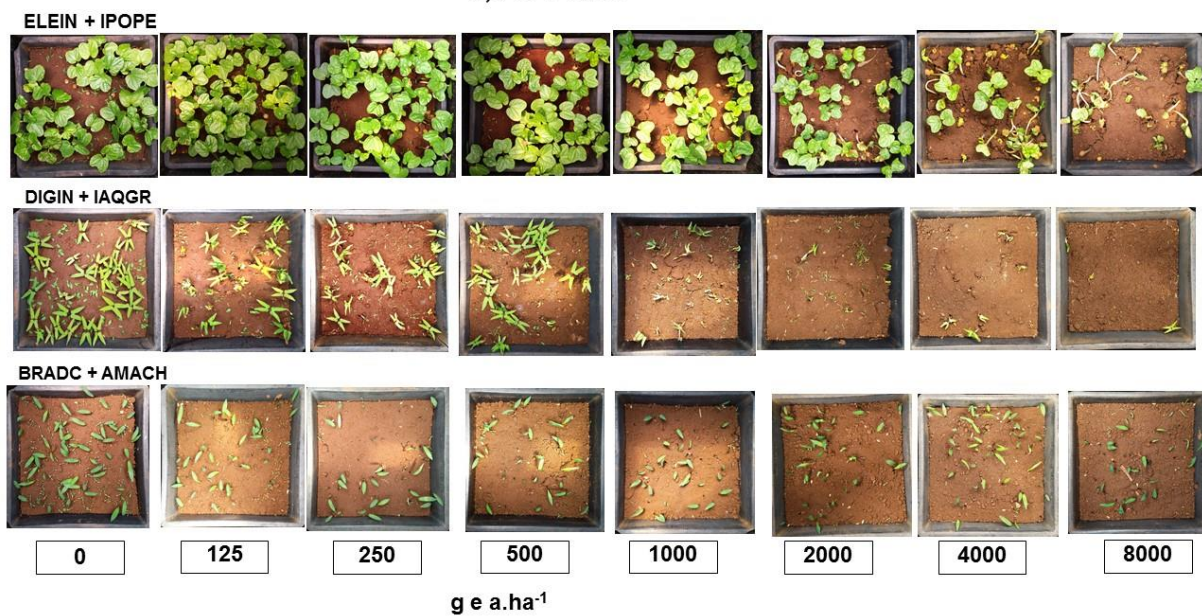
APÊNDICE B- Análise de variância das variáveis de germinação, plântulas deformadas, comprimento de parte aérea e raízes avaliadas em diferentes espécies de plantas daninhas aos 14 DAS

Parâmetros da ANOVA	<i>U. decumbens</i>	<i>D. insularis</i>	<i>E. indica</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>I. grandifolia</i>	<i>D. aegyptius</i>
Germinação (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,3357	0,0000	0,0270	0,3301	0,6794	0,4994
Herbicida (Pr>Fc)	0,0003	0,1847	0,3584	0,0014	0,0586	0,1290
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,0098	0,0639	0,9332	0,0166	0,7458	0,2694
SQ Resíduo	22821,0	45475,0	120014,0	111675,0	143481,0	42649,0
SQ Total	33890,0	90278,0	142956,0	157567,0	159787,0	49382,0
CV (%)	17,2	33,6	43,3	37,4	45,0	22,6
DMS	25,5	36,0	58,6	56,5	64,0	34,9
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	326,0	649,6	1714,5	1595,4	2049,7	609,3
Plântulas deformadas (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,4830	0,0000	0,4135	0,0372	0,1481	0,2041
Herbicida (Pr>Fc)	0,5550	0,0000	0,3208	0,0019	0,7378	0,0032
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,0563	0,0000	0,4135	0,0329	0,6797	0,1476
SQ Resíduo	364,1	0,0	60,3	7147,7	207340,0	78673,0
SQ Total	434,5	0,0	68,0	10458,1	235292,0	103929,0
CV (%)	256,9	0,0	894,4	247,1	135,1	249,1
DMS	3,2	0,0	1,3	14,3	77,0	47,4
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	5,2	0,0	0,9	102,1	2962,0	1123,9
Comprimento de parte aérea (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Herbicida (Pr>Fc)	0,6669	0,0000	0,0006	0,9956	0,9992	0,0001
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,3930	0,0583	0,2253	0,0045	0,3165	0,0007
SQ Resíduo	22227,0	35160,0	61194,0	4570,4	9231,0	11146,0
SQ Total	52935,0	80971,0	117632,0	12235,3	46937,0	53085,0
CV (%)	22,8	28,8	36,6	9,4	35,3	18,3
DMS	25,2	31,7	41,8	11,4	16,2	17,8
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	317,5	502,3	874,2	65,3	131,9	159,2
Comprimento de raízes (%)						
Dose (Pr>Fc)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Herbicida (Pr>Fc)	0,0214	0,0278	0,0126	0,0000	0,0000	0,0000
Dose * Herbicida (Pr>Fc)	0,0880	0,0970	0,0082	0,0000	0,0000	0,0000
SQ Resíduo	4055,0	5037,0	277539,0	5989,0	4481,0	16996,0
SQ Total	106263,0	118827,0	493651,0	75530,0	84766,0	101588,0
CV (%)	20,7	31,9	138,3	19,2	75,8	25,5
DMS	10,8	12,0	89,0	13,1	11,3	22,0
t	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
GL resíduo	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
QME resíduo	57,9	72,0	3964,8	85,6	64,0	242,8

* SQ resíduo: soma de quadrados do resíduo; SQ total: soma de quadrados total; CV (%): coeficiente de variação dado em porcentagem; DMS: diferença mínima significativa; t: teste t-Student; GL resíduo: graus de liberdade do resíduo; QME: quadrado médio do resíduo.

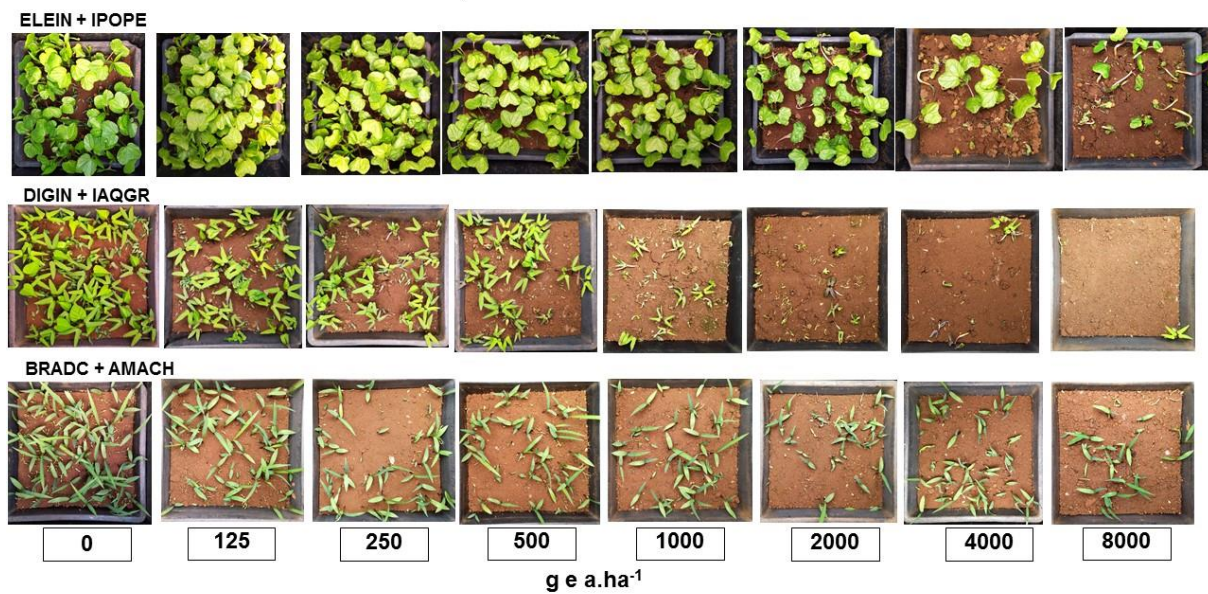
APÊNDICE C- Curva de dose-resposta de 2,4-D aplicado em pré-emergência das plantas daninhas *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* aos 7 DAA

Curva de dose-resposta
2,4-D- 7 DAA



APÊNDICE D- Curva de dose-resposta de 2,4-D aplicado em pré-emergência das plantas daninhas *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* aos 14 DAA

**Curva de dose-resposta
2,4-D- 14 DAA**



APÊNDICE E- Curva de dose-resposta de 2,4-D aplicado em pré-emergência das plantas daninhas *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* aos 21 DAA

Curva de dose-resposta
2,4-D- 21 DAA

ELEIN + IPOPE



DIGIN + IAQGR



BRADC + AMACH



0

125

250

500

1000

2000

4000

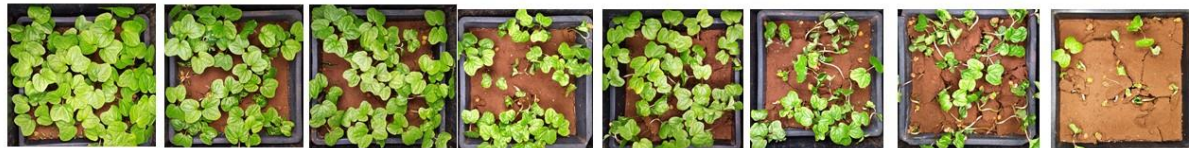
8000

g e a.ha⁻¹

APÊNDICE F- Curva de dose-resposta de dicamba aplicado em pré-emergência das plantas daninhas *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* aos 7 DAA

Curva de dose-resposta
Dicamba- 7 DAA

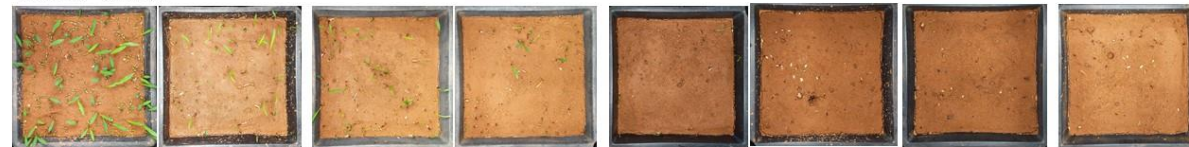
ELEIN + IPOPE



DIGIN + IAQGR



BRADC + AMACH



0

125

250

500

1000

2000

4000

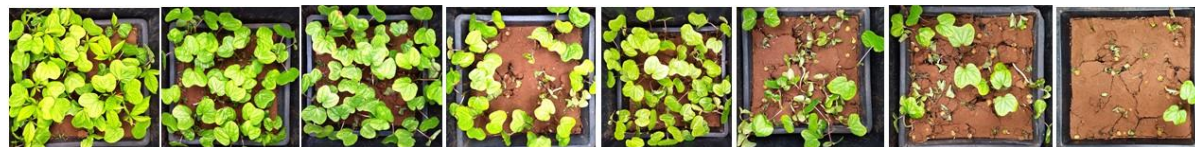
8000

g e a.ha⁻¹

APÊNDICE G- Curva de dose-resposta de dicamba aplicado em pré-emergência das plantas daninhas *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* aos 14 DAA

Curva de dose-resposta
Dicamba- 14 DAA

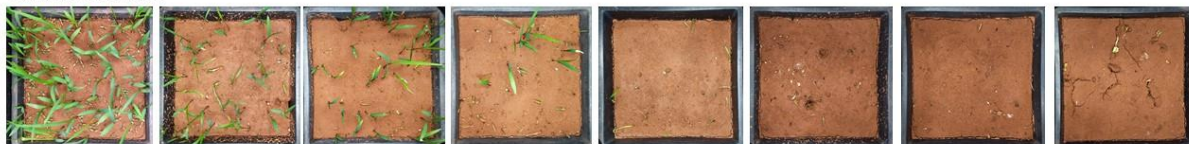
ELEIN + IPOPE



DIGIN + IAQGR



BRADC + AMACH



0

125

250

500

1000

2000

4000

8000

g ea.ha⁻¹

APÊNDICE H- Curva de dose-resposta de dicamba aplicado em pré-emergência das plantas daninhas *U. decumbens*, *D. insularis*, *E. indica*, *A. hybridus*, *I. grandifolia* e *D. aegyptius* aos 21 DAA

